



**TUGAS AKHIR - MN141581**

**ANALISIS PENGARUH PENGURANGAN KECEPATAN KAPAL TERHADAP HAMBATAN/PROPULSI KAPAL, TINGKAT EMISI GAS BUANG, DAN KUALITAS *SEAKEEPING*. STUDI KASUS: KAPAL *GENERAL CARGO***

**AGUNG BUDI DHARMA**  
NRP. 4112 100 004

Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc, Ph.D.  
Dedi Budi Purwanto, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017



**TUGAS AKHIR - MN141581**

**ANALISIS PENGARUH PENGURANGAN KECEPATAN  
KAPAL TERHADAP HAMBATAN/PROPULSI KAPAL,  
TINGKAT EMISI GAS BUANG, DAN KUALITAS  
*SEAKEEPING*. STUDI KASUS: KAPAL *GENERAL CARGO***

**AGUNG BUDI DHARMA**  
NRP. 4112 100 004

Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc, Ph.D.  
Dedi Budi Purwanto, ST., MT.

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN**  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017



**FINAL PROJECT - MN141581**

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF SPEED REDUCTION  
TOWARDS RESISTANCE/PROPULSION, LEVEL OF  
EMISSIONS, AND SEAKEEPING. CASE STUDY: GENERAL  
CARGO SHIP**

**AGUNG BUDI DHARMA  
NRP. 4112 100 004**

**Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc, Ph.D.  
Dedi Budi Purwanto, ST., MT.**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING  
Faculty of Marine Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2017**

## LEMBAR PENGESAHAN

### **ANALISIS PENGARUH PENGURANGAN KECEPATAN KAPAL TERHADAP HAMBATAN/PROPULSI KAPAL, TINGKAT EMISI GAS BUANG, DAN KUALITAS SEAKEEPING. STUDI KASUS: KAPAL GENERAL CARGO**

#### **TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Perancangan Kapal  
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**AGUNG BUDI DHARMA**  
NRP. 4112 100 004

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

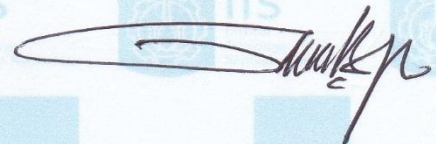
Dosen Pembimbing I



Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc, Ph.D.  
NIP. 1967 0406 1992 03 1001



Dosen Pembimbing II



Dedi Budi Purwanto, ST., MT.  
NIP. 1982 0320 2010 12 1001

SURABAYA, 18 JANUARI 2017



## LEMBAR REVISI

# ANALISIS PENGARUH PENGURANGAN KECEPATAN KAPAL TERHADAP HAMBATAN/PROPULSI KAPAL, TINGKAT EMISI GAS BUANG, DAN KUALITAS SEAKEEPING. STUDI KASUS: KAPAL *GENERAL CARGO*

### TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir  
Tanggal 12 Januari 2017

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika Kapal  
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**AGUNG BUDI DHARMA**  
NRP. 4112 100 004

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Totok Yulianto, S.T., M.T.
2. Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc.

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D.
2. Dedi Budi Purwanto, ST., MT.



SURABAYA, 18 JANUARI 2017

Dipersembahkan kepada kedua orang tua, kakak dan seluruh keluarga atas segala dukungan dan doanya

## KATA PENGANTAR

Puji syukur Kehadirat Allah SWT atas karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Bapak Asikin, Ibu Muhanik, dan Mbak Efi Asmi S. S.Sos., M.Sosio., atas segala dukungan dan doanya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
2. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., PhD. selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan yang sudah banyak membantu penulis sebagai Mahasiswa dalam belajar;
3. Prof. Ir. I K.A.P. Utama, M.Sc., Ph.D. dan Dedi Budi Purwanto, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
4. Hasanudin, S.T., M.T., selaku Kepala Laboratorium Perancangan Kapal Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS atas ijin pemakaian fasilitas laboratorium;
5. Bapak dan Ibu Dosen beserta Staf dan karyawan di Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS yang telah memberikan ilmu dan bantuan kepada penulis
6. Teman-teman satu kontrakan dan FORECASTLE P52 yang telah menemani, membantu, dan menjadi teman terbaik selama penulis berkuliah di Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS
7. Dan kepada semua orang yang berperan aktif dalam kehidupan penulis yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis sadar bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, 18 Januari 2017

Agung Budi Dharma

# **ANALISIS PENGARUH PENGURANGAN KECEPATAN KAPAL TERHADAP HAMBATAN/PROPULSI KAPAL, TINGKAT EMISI GAS BUANG, DAN KUALITAS *SEAKEEPING*. STUDI KASUS : KAPAL *GENERAL CARGO***

Nama Mahasiswa : Agung Budi Dharma  
NRP : 4112 100 004  
Jurusan / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan  
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. I K.A.P. Utama, M.Sc., Ph.D.  
2. Dedi Budi Purwanto, ST., MT.

## **ABSTRAK**

Kapal kargo digunakan sebagai transportasi untuk memindahkan muatan dari suatu tempat ke tempat lainnya. Dengan mempertimbangkan kecepatan sehingga akan mempengaruhi konsumsi bahan bakar, waktu tempuh, dan waktu tunggu di pelabuhan. Kecepatan optimum membuat kapal menjadi lebih ramah terhadap lingkungan. Pada studi kasus ini, kapal KM. Mitra Anugrah II di pelabuhan Tanjung Perak mempunyai waktu tunggu kurang lebih 3 jam pada setiap akan bongkar muat. Maka dari itu pada Tugas Akhir ini bermaksud untuk melakukan analisis ulang terhadap kecepatan kapal, hambatan, dan olah gerak yang mana hasilnya akan dapat digunakan acuan operasional kapal. Hasil dari analisis ini yaitu kecepatan optimal di dapat dari beban mesin 75%, yaitu 10,78 knot pada kondisi *engine margin* MCR sebesar 5% dari total operasional. Kecepatan pada *existing engine* tersebut menghasilkan emisi NO<sub>x</sub> 7,650gm/kWh, EEDI CO<sub>2</sub> 33,459gmCO<sub>2</sub>/ton.mile, dan sisa waktu tunggu hanya 1,5 menit. Dengan memperhitungkan hambatan kapal maka dapat dihitung BHP optimal yaitu 1200kW, dengan BHP tersebut maka terdapat pilhan untuk pergantian mesin agar lebih optimum dan ramah lingkungan. Pada *repowering engine* didapatkan emisi EEDI sebesar 29,350gmCO<sub>2</sub>/ton.mile pada kondisi pembebanan mesin sama seperti existing engine dan menghasilkan emisi yang lebih rendah. Respon kapal terhadap RAO sudut hadap gelombang 0°, 45°, 90°, 135°, dan 180° baik pada kecepatan dinas, maupun kecepatan optimum telah memenuhi batasan kriteria dari GL Noble Denton (2010). Dengan kecepatan yang lebih rendah maka gerakan kapal menjadi lebih tenang membuat kapal menjadi lebih nyaman sebagai tempat untuk bekerja.

Kata kunci: *cargo ship*, EEDI, emisi NO<sub>x</sub>, hambatan, *seakeeping*.



# **ANALYSIS OF THE EFFECT OF SPEED REDUCTION TOWARDS RESISTANCE/PROPULSION, LEVEL OF EMISSIONS, AND SEAKEEPING. CASE STUDY : GENERAL CARGO SHIP**

Author : Agung Budi Dharma  
ID No. : 4112 100 004  
Dept. / Faculty : Naval Architecture & Shipbuilding Engineering / Marine Technology  
Supervisors : 1. Prof. Ir. I K.A.P. Utama, M.Sc., Ph.D.  
2. Dedi Budi Purwanto, ST., MT.

## **ABSTRACT**

The cargo ship was used as transportation to move cargo from one place to another. Considering the speed it will affect fuel consumption travel time and waiting time. The optimum speed will make the ship become more friendly to the environment. In this case study, MV. Mitra Anugrah II at the port of Tanjung Perak has about than 3 hours on each loading and unloading. Therefore this final project means to do reanalyzing of ship speed resistance and seakeeping which the result can be used as ship operational reference. Result of this analysis is optimal speed which has been earned from 75% engine load, which is 10,78 knots at MCR engine margin 5% from total of operations. The speed of existing engine produced 7,650gm/kWh NO<sub>x</sub>; 33,459gmCO<sub>2</sub>.ton.mile EEDI emission, and 1,5 minutes rest of waiting time. Considering resistance of the ship than optimal BHP can be calculated as 1200kW, by using such BHP so there are options to replace the engine in addition due to optimum enviromentaly safe. At that repowering engine can be obtained 29,35 gmCO<sub>2</sub>/ton.mile of EEDI on the same engine load condition as the existing engine and produces lower emissions. Ship response towards RAO wave heading angle 0°, 45°, 90°, 135°, and 180° no only at service speed but also optimum speed has met the boundary criteria of GL Noble Denton (2100). With lower speed, ship movement becomes more steady as a comfort place to work.

Keywords: cargo ship, EEDI, NO<sub>x</sub> emission, resistance, seakeeping.

# DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
HALAMAN PERUNTUKAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xvi
Bab I PENDAHULUAN .....	1
I.1. Latar Belakang Masalah .....	1
I.2. Perumusan Masalah .....	2
I.3. Batasan Masalah .....	3
I.4. Tujuan .....	3
I.5. Manfaat .....	3
I.6. Hipotesis .....	3
Bab II STUDI LITERATUR .....	5
II.1. Hambatan Kapal .....	5
II.1.1. Hambatan viskos .....	6
II.1.2. Hambatan gesek.....	7
II.1.3. Hambatan gelombang (Wave-making resistance) .....	7
II.1.4. Hambatan udara.....	8
II.2. Teori Gelombang Kapal.....	8
II.3. Olah Gerak Kapal .....	10
II.3.1. Gerakan heaving .....	11
II.3.2. Gerakan pitching.....	12
II.3.3. Gerakan rolling .....	13
II.3.4. Arah gerakan kapal terhadap gelombang .....	14

II.3.5.	Frekuensi dan periode alami.....	15
II.3.6.	Response Amplitude Operators (RAO).....	17
II.3.7.	Spektrum gelombang .....	18
II.4.	Tingkat Emisi Gas Buang Kapal .....	20
II.4.1.	Energy Efficiency Design Index (EEDI).....	20
II.4.2.	Nitrogen Oksida (NO <sub>x</sub> ) .....	24
II.4.3.	Sulfur Oksida (SO <sub>x</sub> ) .....	25
II.5.	Automatic Identification System (AIS) .....	27
II.6.	Software Maxsurf .....	27
II.6.1.	Maxsurf 3D modeler.....	28
II.6.2.	Maxsurf resistance .....	28
II.7.	Computational Fluid Dynamic (CFD) .....	29
II.7.1.	Persamaan dasar dinamika fluida pada CFD .....	30
II.7.2.	Pre processor .....	30
II.7.3.	Processor (solver) .....	31
II.7.4.	Post Processor.....	31
II.8.	Ansys AQWA .....	32
II.8.1.	Governing Equation.....	33
II.8.2.	3D Diffraction Theory .....	34
Bab III	METODOLOGI PENELITIAN.....	35
III.1.	Pendahuluan .....	35
III.2.	Identifikasi dan Perumusan Masalah.....	36
III.3.	Studi Literatur .....	37
III.4.	Pengumpulan Data .....	37
III.5.	Input Data & Permodelan.....	38
III.6.	Analisis.....	39
III.7.	Analisis hambatan .....	39
III.7.1.	Tahapan CFD .....	39
III.7.2.	Pemilihan Jumlah Grid (Meshing).....	40
III.7.3.	Pendefinisian Model .....	40
III.7.4.	Pemilihan Turbulensi .....	41
III.7.5.	Validasi hasil.....	42
III.8.	Analisa Seakeeping .....	43

III.8.1.	Pembuatan Model .....	44
III.8.2.	Meshing .....	44
III.8.3.	Setting .....	44
III.8.4.	Solution .....	44
III.8.5.	Validasi model .....	45
III.9.	Perhitungan Besar Emisi Gas Buang .....	46
III.10.	Analisis dan Pembahasan .....	47
III.11.	Kesimpulan dan saran .....	47
Bab IV PEMBUATAN MODEL DAN SIMULASI .....		49
IV.1.	Pendahuluan .....	49
IV.2.	Penentuan Kecepatan Kapal .....	49
IV.3.	Pemodelan Kapal Pada CFD .....	50
IV.3.1.	Pembuatan model uji .....	50
IV.3.2.	Meshing .....	50
IV.4.	Simulasi CFD .....	51
IV.4.1.	Pre-processor full viscous .....	51
IV.4.2.	Pre-processor Free Surface .....	53
IV.4.3.	Tahap Processor (solver) .....	55
IV.4.4.	Tahap Post-Processor .....	56
IV.4.5.	Validasi Grid Independence .....	56
IV.4.6.	Perhitungan hambatan dengan Software Maxsurf Resistance .....	58
IV.5.	Simulasi Ansys-AQWA .....	60
IV.5.1.	Pembuatan Model Simulasi .....	60
IV.5.2.	Pengaturan Geometri pada ANSYS – Design Modeler .....	60
IV.5.3.	Pengaturan massa dan meshing model .....	61
IV.5.4.	Hydrodynamic Diffraction .....	65
IV.5.5.	Hydrodynamic Time Response .....	67
IV.5.6.	Validasi Model .....	69
IV.6.	Perhitungan Emisi Gas Buang .....	75
IV.6.1.	Perhitungan EEDI .....	75
IV.6.2.	Perhitungan Nitrogen Oksida (NO <sub>x</sub> ) .....	77
Bab V ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....		79
V.1.	Pendahuluan .....	79

V.2.	Hasil Simulasi Full Viscous.....	79
V.3.	Hasil Simulasi Free Surface.....	81
V.4.	Respon Kapal pada Gelombang Regular .....	82
V.4.1.	Hasil Kurva RAO Gerakan Roll.....	83
V.4.2.	Hasil Kurva RAO Gerakan Pitch.....	85
V.4.3.	Hasil Kurva RAO Gerakan Heave.....	87
V.5.	Respon Kapal pada Gelombang Irregular.....	88
V.5.1.	Hasil Kurva Spectrum Gelombang.....	88
V.5.2.	Hasil Kurva Respon Spektrum .....	89
V.5.3.	Hasil Amplitudo Signifikan.....	91
V.5.4.	Perpindahan dan Rotasi Model Kapal .....	94
V.5.5.	Kriteria Kenyamanan Model Dok Apung .....	95
V.6.	Hasil Perhitungan Emisi Gas Buang.....	97
V.6.1.	Perhitungan EEDI (CO <sub>2</sub> ) .....	97
V.6.2.	Perhitungan Nitrogen Oksida (NO <sub>x</sub> ).....	101
Bab VI	KESIMPULAN DAN SARAN .....	105
VI.1.	Kesimpulan.....	105
VI.2.	Saran.....	106
DAFTAR	PUSTAKA.....	107
LAMPIRAN A WAITING TIME KAPAL DI PELABUHAN		
LAMPIRAN B LINESPLAN KM. MITRA ANUGRAH II		
LAMPIRAN C PERHITUNGAN BHP REPOWERING		
LAMPIRAN D PERHITUNGAN EMISI BAHAN BAKAR		
LAMPIRAN E HASIL RAO, PERHITUNGAN WAVE SPECTRUM, DAN RESPONSE SPECTRUM		
LAMPIRAN F PERHITUNGAN SIGNIFICANT AMPLITUDE		
BIODATA PENULIS		



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Komponen hambatan total .....	5
Gambar 2. 2 Komponen Hambatan Viscos .....	7
Gambar 2. 3 Gelombang sinusoidal .....	9
Gambar 2. 4 Derajat kebebasan kapal terapung .....	11
Gambar 2. 5 Arah gerakan kapal terhadap gelombang .....	15
Gambar 2. 6 Gelombang panjang, medium dan pendek.....	18
Gambar 2. 7 MARPOL Annex VI NOx Emission Limits.....	25
Gambar 2. 8 Emisi Sox per tahun.....	26
Gambar 2. 9 Visualisasi untuk sistem Ansys-AQWA.....	32
Gambar 2. 10 Lambung kapal dibagi menjadi beberapa panel .....	34
 Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian .....	 36
Gambar 3. 2 Linesplan kapal KM. MITRA ANUGERAH II .....	37
Gambar 3. 3 Pemodelan pada software maxsurf .....	38
Gambar 3. 4 Hasil model 3D pada software maxsurf.....	39
Gambar 3. 5 Perbedaan ukuran meshing kecil (kiri) dan besar (kanan) .....	40
Gambar 3. 6 Batas konvergensi pada Ansys-CFD .....	43
Gambar 3. 7 Bentuk model WAMIT .....	46
 Gambar 4. 1 Spesifikasi mesin .....	 50
Gambar 4. 2 Hasil meshing simulasi full viscous .....	51
Gambar 4. 3 Hasil meshing simulasi free surface .....	51
Gambar 4. 4 Kondisi batas simulasi full viscous .....	52
Gambar 4. 5 Kondisi batas simulasi free surface .....	55
Gambar 4. 6 Grid independence hambatan viskos .....	57
Gambar 4. 7 Grid independence hambatan total .....	58
Gambar 4. 8 Pengaturan pada software maxsurf .....	59
Gambar 4. 9 Nilai hasil hambatan pada software maxsurf.....	59
Gambar 4. 10 tools geometry .....	60

Gambar 4. 11 Model pada Ansys-AQWA .....	61
Gambar 4. 12 Transfer data model ke Hidrodynamic Diffraction .....	61
Gambar 4. 13 Pengaturan berat dan buoyancy kapal .....	62
Gambar 4. 14 Hasil meshing pada Ansys AQWA .....	62
Gambar 4. 15 Grid independence RAO-Roll .....	64
Gambar 4. 16 Grid independence RAO-Pitch .....	64
Gambar 4. 17 Grid independence RAO-Heave .....	65
Gambar 4. 18 Pengaturan pada Hidrodynamic Deffraction .....	66
Gambar 4. 19 Hasil Response Amplitude Operator (RAO) .....	66
Gambar 4. 20 Simulasi RAO .....	67
Gambar 4. 21 Transfer data ke Hidrodynamic Response .....	67
Gambar 4. 22 Pengaturan pada Hidrodynamic Response .....	69
Gambar 4. 23 Hasil simulasi Time Response .....	69
Gambar 4. 24 Model validasi WAMIT .....	70
Gambar 4. 25 Hasil meshing model validasi .....	70
Gambar 4. 26 Perbandingan gerakan translasi searah sumbu-x Ansys-AQWA dengan WAMIT .....	72
Gambar 4. 27 Perbandingan gerakan translasi searah sumbu-y Ansys-AQWA dengan WAMIT .....	72
Gambar 4. 28 Perbandingan gerakan translasi searah sumbu-z Ansys-AQWA dengan WAMIT .....	73
Gambar 4. 29 Perbandingan gerakan rotasi searah sumbu-x Ansys-AQWA dengan WAMIT	73
Gambar 4. 30 Perbandingan gerakan rotasi searah sumbu-y Ansys-AQWA dengan WAMIT	74
Gambar 4. 31 Perbandingan gerakan rotai searah sumbu-z Ansys-AQWA dengan WAMIT .	74
Gambar 4. 32 Grafik konsumsi bahan bakar berdasarkan kecepatan .....	75
 Gambar 5. 1 Proses simulasi ANSYS dan perhitungan emisi .....	79
Gambar 5. 2 Kurva perbandingan hambatan viskos dengan kecepatan .....	81
Gambar 5. 3 Kurva perbandingan hambatan total dengan kecepatan .....	82
Gambar 5. 4 Nilai RAO Roll sudut 0°, 45°, 90°, 135°, dan 180° pada kecepatan 10,78 knot ..	83
Gambar 5. 5 Nilai RAO Roll sudut 0°, 45°, 90°, 135°, dan 180° pada kecepatan 11,36 knot ..	84
Gambar 5. 6 Nilai RAO Roll sudut 0°, 45°, 90°, 135°, dan 180° pada kecepatan 11,7 knot ....	84
Gambar 5. 7 Nilai RAO Pitch sudut 0°, 45°, 90°, 135°, dan 180° pada kecepatan 10,78 knot .	85

Gambar 5. 8 Nilai RAO Pitch sudut $0^\circ$ , $45^\circ$ , $90^\circ$ , $135^\circ$ , dan $180^\circ$ pada kecepatan 11,36 knot.	85
Gambar 5. 9 Nilai RAO Pitch sudut $0^\circ$ , $45^\circ$ , $90^\circ$ , $135^\circ$ , dan $180^\circ$ pada kecepatan 11,7 knot...	86
Gambar 5. 10 Nilai RAO Heave sudut $0^\circ$ , $45^\circ$ , $90^\circ$ , $135^\circ$ , dan $180^\circ$ pada kecepatan 10,78 knot .....	87
Gambar 5. 11 Nilai RAO Heave sudut $0^\circ$ , $45^\circ$ , $90^\circ$ , $135^\circ$ , dan $180^\circ$ pada kecepatan 11,36 knot .....	87
Gambar 5. 12 Nilai RAO Heave sudut $0^\circ$ , $45^\circ$ , $90^\circ$ , $135^\circ$ , dan $180^\circ$ pada kecepatan 11,7 knot .....	88
Gambar 5. 13 Wave spectrum pada pola gelombang JONSWAP.....	89
Gambar 5. 14 Respon Spektrum gerakan Roll kecepatan 10,78 knot.....	90
Gambar 5. 15 Respon Spektrum gerakan Pitch kecepatan 10,78 knot.....	90
Gambar 5. 16 Respon Spektrum gerakan Heave kecepatan 10,78 knot.....	91
Gambar 5. 17 Amplitude of the significant rolling motion.....	92
Gambar 5. 18 Amplitude of the significant pitching motion.....	93
Gambar 5. 19 Amplitude of the significant heaving motion.....	94
Gambar 5. 20 Emisi EEDI berdasarkan engine margin (RPM) .....	100
Gambar 5. 21 Marpol Annex VI NOx Emission Limit.....	102
Gambar 5. 22 Emisi NOx berdasarkan Engine margin (RPM).....	102
Gambar 5. 23 Grafik emisi EEDI dan NOx.....	104

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Rumus Umum RAO .....	17
Tabel 2. 2 Parameter a, b, dan c untuk beberapa tipe kapal .....	22
Tabel 2. 3 EEDI reduction factor (resolution MEPC.203(62) and MEPC.251(66)) .....	23
Tabel 2. 4 MARPOL Annex VI NO <sub>x</sub> Emission Limits .....	24
Tabel 2. 5 MARPOL Annex VI Fuel Sulfur Limit .....	26
Tabel 3. 1 Ukuran utama kapal.....	37
Tabel 3. 2 Perbandingan data dengan model.....	38
Tabel 3. 3 Default motion criteria .....	45
Tabel 3. 4 Ukuran model WAMIT .....	46
Tabel 3. 5 Faktor Emisi (Kg/Ton bahan bakar).....	47
Tabel 4. 1 Pendefinisian CFX Expression Language (CEL) .....	53
Tabel 4. 2 Grid independence hambatan viskos .....	56
Tabel 4. 3 Grid independence hambatan total .....	57
Tabel 4. 4 Perbandingan jumlah elemen terhadap luasan RAO .....	63
Tabel 4. 5 Data ketinggian gelombang.....	68
Tabel 4. 6 Data Hasil WAMIT $\mu = 45^\circ$ .....	70
Tabel 4. 7 Data Hasil Ansys AQWA $\mu = 45^\circ$ .....	71
Tabel 4. 8 Konsumsi bahan bakar .....	75
Tabel 5. 1 Perbandingan koefisien hambatan pada software maxsurf .....	80
Tabel 5. 2 Hasil simulasi hambatan viskos.....	80
Tabel 5. 3 Hasil simulasi hambatan total.....	81
Tabel 5. 4 Amplitude of the significant rolling motion.....	92
Tabel 5. 5 Amplitude of the significant pitching motion .....	93
Tabel 5. 6 Amplitude of the significant heaving motion.....	94
Tabel 5. 7 Perpindahan dan rotasi kapal pada sudut 0°, 45°, 90°, 135°, dan 180°.....	95
Tabel 5. 8 Batas kriteria kenyamanan .....	96

Tabel 5. 9 Hasil respon terhadap batasan kriteria.....	96
Tabel 5. 10 Variasi kecepatan berdasarkan beban mesin .....	97
Tabel 5. 11 Hasil perhitungan EEDI existing engine .....	97
Tabel 5. 12 Spesifikasi mesin untuk repowering.....	98
Tabel 5. 13 Perbandingan SFC existing engine dan repowering.....	98
Tabel 5. 14 Hasil perhitungan EEDI repowering engine.....	99
Tabel 5. 15 Perbandingan nilai EEDI.....	99
Tabel 5. 16 Hasil Perhitungan emisi NOx .....	101
Tabel 5. 17 Emisi EEDI dan NOx .....	103





# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1. Latar Belakang Masalah**

Kapal adalah alat transportasi yang digunakan untuk memindahkan muatan dari suatu tempat ke tempat lain. Karena Indonesia adalah negara kepulauan, menjadikan kapal sangat dibutuhkan. Dalam memindahkan muatan tersebut, kapal diharuskan berlayar dari pelabuhan satu ke pelabuhan lainnya dengan mengarungi daerah perairan tertentu. Mengingat Indonesia kaya akan kondisi perairan yang beraneka ragam, tidak jarang kapal beroperasi pada kondisi perairan yang berbeda dalam sekali pelayarannya. Selain itu kapal tidak selalu dapat menggunakan kecepatan dinas disebabkan pada daerah perairan tertentu menetapkan aturan dimana kecepatan maksimum dari kapal yang berlayar di daerah tersebut. Sebagai contoh ketika akan memasuki perairan pelabuhan atau keluar dari perairan pelabuhan kecepatan kapal dibatasi agar tidak mengganggu aktifitas yang ada.

Dengan kondisi tersebut maka akan berpengaruh pula terhadap pemakaian bahan bakar. Pada akhirnya akan mengarah kepada faktor ekonomi seperti kenaikan kebutuhan bahan bakar. Selain dari segi faktor ekonomi, pemakaian bahan bakar yang tinggi akan menimbulkan emisi gas buang kapal yang berlebihan. Dampak terhadap lingkungan dimana kapal tersebut beroperasi harus diperhatikan. IMO pada tahun 2012 menyoroti kebutuhan mendesak untuk mengurangi emisi gas rumah kaca atau Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>), dimana dari bidang pelayaran menyumbang kurang lebih 3-4% dari emisi global dan proporsi ini akan meningkat jika emisi ini tidak dikendalikan meskipun ini bukan masalah baru. Selain itu IMO juga cukup ketat dalam aturan untuk faktor emisi selain CO<sub>2</sub>, contohnya Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>) dan Sulfur Oksida (SO<sub>x</sub>). Sehingga kapal-kapal yang berlayar terikat pada aturan tersebut. (Molland, Turnock, Hudson, & Utama, 2012)

Peraturan yang mengatur tentang jumlah kandungan polusi udara atau emisi telah banyak ditetapkan, termasuk permasalahan di bidang marine, salah satunya dengan ditetapkannya Marine Pollution (MARPOL) 73/78 Annex VI Peraturan tentang Pencegahan Pencemaran Udara dari Kapal. Dan telah berlaku sejak 19 Mei 2005. Penetapan ini, salah satunya dikarenakan adanya kapal-kapal dengan kelas diesel engine lebih dari 130kW yang berlayar sejauh 200 mill laut dari pantai menyebabkan permasalahan polusi yang serius.

Sehingga sangat diperlukan penerapan dalam konsumsi bahan bakar agar dapat mengontrol polusi tersebut.

Tekanan ekonomi dan lingkungan tersebut akan berpengaruh terhadap peningkatan desain dan pengoperasian kapal. Dengan kasus diatas maka pada akhirnya akan mengarah pada kebutuhan untuk estimasi daya pendorong dan pemilihan mesin yang sesuai. Potensi penghematan terbesar dapat dilakukan dengan strategi operasional yang dioptimalkan dari pengaturan kecepatan kapal. Untuk mengatur kecepatan tersebut selain perlu dipertimbangkan mengenai konsumsi bahan bakar tetapi perlu juga dipertimbangkan mengenai ketersediaan tempat bersandar dipelabuhan untuk bongkar muat.

Di Indonesia banyak pelabuhan yang belum bisa mengatur manajemen untuk estimasi waktu bongkar muat kapal, sehingga banyak terjadi penumpukan kapal yang ingin masuk dan melakukan bongkar muat. Ini menjadi masalah ketika kapal yang ingin masuk ke pelabuhan harus mengantri cukup lama karena kapal tersebut sudah melaju cepat agar bisa masuk ke pelabuhan dengan segera. Tetapi ketika tiba di pelabuhan yang dituju terjadi antri yang panjang yang menyebabkan kapal tersebut tidak dapat segera masuk. Maka dari itu perlu di rencanakan kecepatan kapal untuk masuk kepelabuhan diwaktu yang pas, atau paling tidak bisa meminimalkan lama waktu mengantri. (Wijayanto, 2011)

Selain itu hambatan dan olah gerak kapal tetap harus diperhatikan. Kecepatan kapal yang berbeda akan menyebabkan besar hambatan yang berbeda pula. Dengan mengetahui hambatan yang dihasilkan oleh kapal maka akan dapat memprediksi besar kapasitas mesin yang dibutuhkan oleh kapal. Sehingga mesin yang digunakan oleh kapal tidak terlalu besar tetapi cukup untuk menggerakkan kapal sesuai dengan kecepatan yang diinginkan. Dengan optimasi dari mesin tersebut membuat kapal tidak memakan bahan bakar yang berlebihan. Sedangkan gerak kapal dipengaruhi oleh kondisi laut di daerah pelayaran. Sehingga dengan memperhitungkan hambatan dan gerak kapal maka kapal tetap dapat berlayar dengan aman di berbagai kecepatan.

## **I.2. Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, adapun beberapa detail permasalahan yang akan diselesaikan adalah sebagai berikut:

- a. Berapa kecepatan yang optimal terhadap operasional kapal agar dapat meminimalkan waktu tunggu di pelabuhan?
- b. Berapa besar emisi yang dihasilkan oleh kapal dari hasil pengurangan kecepatan?

- c. Bagaimana pengaruh pengurangan kecepatan terhadap besar hambatan dan kualitas *seakeeping* kapal?

### **I.3. Batasan Masalah**

Penyusunan Tugas Akhir ini memerlukan batasan-batasan masalah yang berfungsi untuk mengefektifkan perhitungan dan proses penulisan. Batasan-batasan tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Pemodelan untuk mencari hambatan dan *seakeeping* kapal.
- b. Analisa hambatan menggunakan *software Ansys-CFD* dan *Maxsurf* sebagai validasi.
- c. *Seakeeping* kapal hanya menghitung respon *heave*, *pitch*, dan *roll* dari kapal dengan menggunakan *software Ansys-AQWA*.
- d. Tinggi gelombang pada daerah pelayaran digunakan gelombang *irregular*.
- e. Tidak memperhitungkan lalu lintas pelayaran dengan *Automatic Identification System (AIS)* untuk mencari variasi kecepatan.

### **I.4. Tujuan**

Tujuan dari pengerjaan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Untuk mengetahui kecepatan yang efisien sehingga dapat meminimalkan waktu tunggu di pelabuhan.
- b. Untuk mengetahui pengaruh pengurangan kecepatan kapal terhadap hambatan dan kualitas *seakeeping* kapal.
- c. Untuk mengetahui besarnya emisi gas buang kapal yang dihasilkan selama pelayaran.

### **I.5. Manfaat**

Manfaat dari pengerjaan Tugas Akhir ini adalah :

- a. Dapat digunakan sebagai acuan dalam mempertimbangkan strategi operasional kapal dengan estimasi kecepatan kapal.
- b. Dapat membantu mengurangi emisi yang dihasilkan pada gas buang kapal.

### **I.6. Hipotesis**

Hasil analisis akan menunjukkan bahwa kecepatan baru yang didapat akan memberikan emisi lebih rendah dari kecepatan dinas. Selain itu hambatan yang diperoleh akan lebih kecil daripada kecepatan dinas. Hasil *seakeeping* dengan kecepatan optimal akan mendapatkan respon kapal yang lebih nyaman.

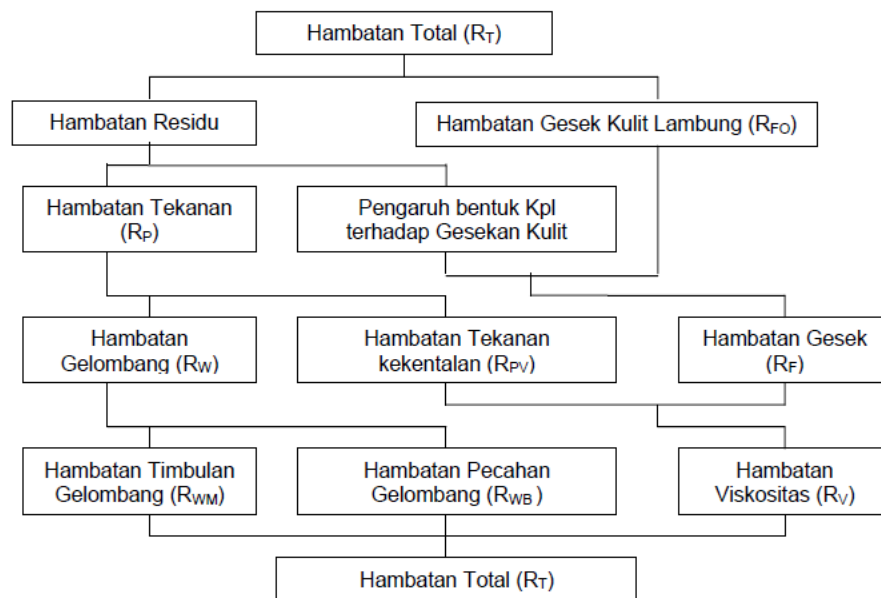
Halaman ini sengaja dikosongkan



## BAB II STUDI LITERATUR

### II.1. Hambatan Kapal

Kapal yang bergerak di media air dengan kecepatan tertentu, akan mengalami gaya hambat (tahanan) yang berlawanan dengan arah gerak kapal tersebut. Besar hambatan suatu kapal dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu luas permukaan basah, jenis fluida, dan kecepatan kapal. Nilai hambatan kapal akan meningkat apabila angka froude mengalami kenaikan. (Harvald, 1992)



Gambar 2. 1 Komponen hambatan total

Besar hambatan total akan naik secara kontinu seiring bertambahnya kecepatan kapal, hingga pada kecepatan tertentu hambatan akan besar (Nawawi, 2015). Secara umum, hambatan total dihitung dengan menguraikan ke dalam komponen-komponennya, seperti yang ditunjukkan pada (Bertram, 2000). Rumusan hambatan dapat ditulis dengan persamaan :

$$R_T = R_V + R_W + R_A \quad (2. 1)$$

Dimana:

- $R_T$  : Hambatan Total
- $R_V$  : Hambatan Viskos
- $R_W$  : Hambatan Gelombang Kapal
- $R_A$  : Hambatan Udara

Hambatan total merupakan total dari keseluruhan gaya yang bekerja melawan gerakan kapal. Nilainya didapatkan pada kondisi air tenang. Untuk mengetahui nilai hambatan total secara praktis, diperlukan rumusan pendekatan yang didapatkan dari suatu metode. Perhitungan ini menggunakan metode *Holtrop & Mennen*, yang mana *Holtrop* membagi hambatan total dalam beberapa komponen yang terdiri dari hambatan keketalan (*Viscous resistance*), hambatan bentuk (*Resistance of appendages*), dan hambatan gelombang (*Wave making resistance*).

Secara umum rumus hambatan total ( $R_T$ ):

$$R_T = 0.5 \cdot \rho \cdot V_S^2 \cdot S_{\text{total}} \cdot (C_{FO} \cdot (1 + k) + C_A + \left(\frac{R_W}{W} \cdot W\right)) \quad (2. 2)$$

Referensi yang digunakan adalah Buku *Principles of Naval Architecture* (PNA) Vol. II halaman 90-92 Bab *Resistance*.

Dengan keterangan:

- $\rho$  : Massa jenis air laut
- $V$  : Kecepatan dinas kapal
- $S_{\text{tot}}$  : Luas permukaan basah total kapal
- $C_F$  : Koefisien hambatan gesek
- $(1 + k)$  : koefisien faktor bentuk
- $C_A$  : Korelasi model kapal
- $R_W/W$  : Koefisien tahanan gelombang
- $W$  : gaya tekan keatas atau buoyancy

Menurut (Lewis, 1988), hambatan total yang bekerja pada kapal dapat dibagi menjadi empat komponen utama yaitu:

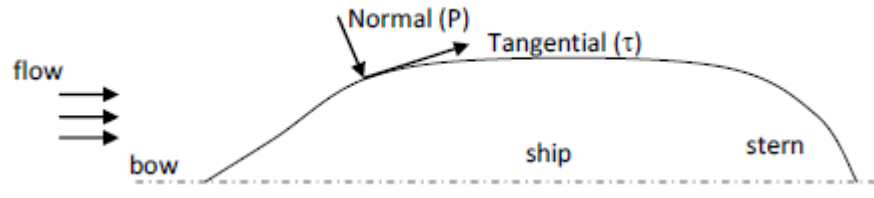
### II.1.1. Hambatan viskos

Hambatan *Viskos* merupakan hambatan yang muncul karena adanya efek viskositas fluida. Secara teoritis, hambatan viskos atau sering dipresentasikan sebagai koefisien  $C_v$  memiliki dua komponen utama yaitu hambatan gesek (*friction resistance*) dan hambatan bentuk atau yang sering dikenal dengan hambatan tekanan (*pressure resistance*) (Utama & Molland, 2001). Komponen tersebut memiliki arah sumbu kerja yang berbeda, satu komponen bekerja pada arah mengikuti garis *stream line* lambung kapal membentuk sudut terhadap aliran normal fluida (arah tangensial) disebut sebagai *friction resistance* (hambatan gesek), sedangkan komponen lainnya bekerja sebagai gaya normal yang arahnya tegak lurus dengan lambung kapal *pressure resistance* (hambatan bentuk).

$$C_v = C_F + KC_F = (1+K) C_F \quad (2. 3)$$

dimana:

- $C_F$  : Tangensial component  
 $K C_F$  : Normal component  
 $(1+K)$  : Faktor bentuk



Gambar 2. 2 Komponen Hambatan Viscos  
 Sumber: (Carlton, 2007)

### II.1.2. Hambatan gesek

Hambatan gesek (*frictional resistance*), merupakan salah satu komponen dari hambatan viskos. Hambatan ini terjadi akibat gesekan antara molekul fluida dan nilainya dipengaruhi oleh viskositas, kecepatan kapal, dan luas permukaan basah. Rumus umum hambatan gesek kapal ditulis dengan persamaan ITTC 1957

$$R_f = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_f \cdot S \cdot V^2 \quad (2.4)$$

dimana:

- $R_f$  : Hambatan gesek  
 $\rho$  : Kerapatan fluida  
 $C_f$  : Koefisien gesek  
 $S$  : Luas permukaan basah  
 $V$  : Kecepatan kapal

### II.1.3. Hambatan gelombang (*Wave-making resistance*)

Sebuah benda yang bergerak di dalam fluida akan menghasilkan medan tekanan disekitar benda tersebut dimana dengan adanya permukaan bebas (misalnya pertemuan air dengan udara) akan menghasilkan suatu bentuk sistem gelombang. Gelombang terbentuk dengan konstan dan bergerak meninggalkan kapal ke arah belakang ketika kapal bergerak maju ke depan dan selanjutnya menjadi sumber atau komponen hambatan kapal.

Gelombang yang terjadi merupakan akibat gerakan titik tekanan tunggal yang bergerak sepanjang garis lurus pada permukaan air, menimbulkan sejumlah gelombang yang bergabung membentuk suatu pola yang khas. Pola ini terdiri dari sistem (sejumlah) gelombang melintang (*transverse waves*) dan sistem gelombang divergen yang menyebar dari titik tersebut yang

menunjukkan pola gelombang. Jarak antara satu gelombang melintang dengan gelombang melintang berikutnya sangat tergantung pada kecepatan gerakan. (Harvald, 1992)

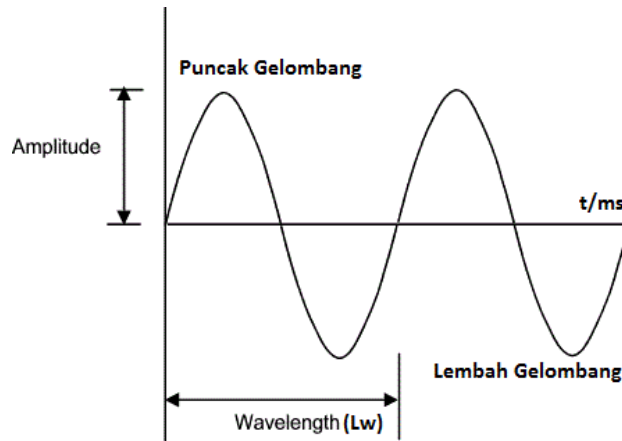
#### **II.1.4. Hambatan udara**

Hambatan udara adalah hambatan yang disebabkan oleh pengaruh gaya dari udara atau angin. Besarnya dipengaruhi oleh proyeksi luas penampang bentuk kapal diatas garis air, kecepatan, dan arah angin (Nawawi, 2015).

### **II.2. Teori Gelombang Kapal**

Dalam studi *seakeeping* perlu dipelajari terlebih dahulu masalah gelombang. Gelombang yang didefinisikan sebagai perubahan bentuk karena gerakan permukaan air. Selanjutnya setiap gelombang yang dimaksudkan adalah gelombang air laut. Sebelum mempelajari lebih jauh mengenai gelombang, lebih dahulu diperkenalkan hal-hal yang berhubungan dengan gelombang, yaitu sebagai berikut:

1. Puncak gelombang (*crest*): titik dimana permukaan air berada pada elevasi tertinggi
2. Lembah gelombang (*trough*): titik dimana permukaan air berada pada elevasi terendah
3. Garis datum: garis datar permukaan air (diambil secara statistik) pada waktu air tenang
4. Elevasi gelombang ( $\zeta$ ): jarak suatu titik pada permukaan gelombang dengan garis datum pada suatu waktu tertentu
5. Amplitudo gelombang ( $\zeta a$ ): garis vertikal antara titik tertinggi atau titik terendah dengan garis datum
6. Panjang gelombang ( $\lambda$ ): jarak dari puncak (atau lembah) gelombang dengan puncak (atau lembah) gelombang berikutnya
7. Kecepatan gelombang ( $V$ ): jarak yang ditempuh suatu titik per satuan waktu
8. Frekuensi gelombang ( $\omega$ ): banyaknya puncak (atau lembah) gelombang yang dilalui oleh suatu titik per satuan waktu



Gambar 2. 3 Gelombang sinusoidal  
Sumber: (Bhattacharyya, 1978)

Laut memiliki kondisi yang berbeda-beda di setiap tempat tergantung dari kondisi alam yang mempengaruhinya. Gelombang laut dipengaruhi oleh dalam atau tidaknya suatu perairan. Oleh karena itu, bentuk dan sifat gelombang sangatlah kompleks. Gelombang dibagi menjadi dua jenis, yaitu gelombang sinusoidal (biasa disebut *regular wave*) dan gelombang *trochoidal* (biasa disebut *irregular wave*). Karena jenis kedua gelombang tersebut sangat kompleks, maka untuk melakukan perhitungan ilmiah dilakukan pendekatan agar dapat digambarkan sifat dari gelombang yang kita gunakan. Gelombang sinusoidal adalah gelombang harmonik yang mengikuti fungsi sinus, bagian puncak dan lembah gelombang yang runcing dengan lembah gelombang yang datar dan lebih panjang. Jenis gelombang ini lebih sulit diterapkan dalam perhitungan meskipun bentuknya lebih mendekati bentuk gelombang sesungguhnya. (Bhattacharyya, 1978)

Gelombang diasumsikan pada perairan dalam sehingga pengaruh dasar (kedalaman) tidak terjadi atau diabaikan. Selain itu, lebar perairan tak terbatas, sehingga pengaruh sisi perairan kecil. Beberapa karakteristik gelombang harmonik sinusoidal antara lain dirumuskan sebagai berikut:

- 1) Panjang gelombang ( $L_w$ )

$$L_w = \frac{2\pi V_w^2}{\sqrt{C_f}} = \frac{2\pi g}{\omega_w^2} = \frac{g T_w^2}{2\pi} \quad (2.5)$$

- 2) Wave velocity ( $V_w$ )

$$V_w = \frac{L_w}{T_w} = \frac{g}{\omega_w} = \left( \frac{g L_w}{2\pi} \right)^{3/2} \quad (2.6)$$

- 3) Wave number ( $k$ )



$$k = \frac{2\pi}{L_w} = \frac{\omega_w^2}{g} = \frac{g}{V_w^2} = \frac{4\pi^2}{gT_w^2} \quad (2.7)$$

4) Periode gelombang ( $T_w$ )

$$T_w = \sqrt{\frac{2\pi L_w}{g}} \quad (2.8)$$

### II.3. Olah Gerak Kapal

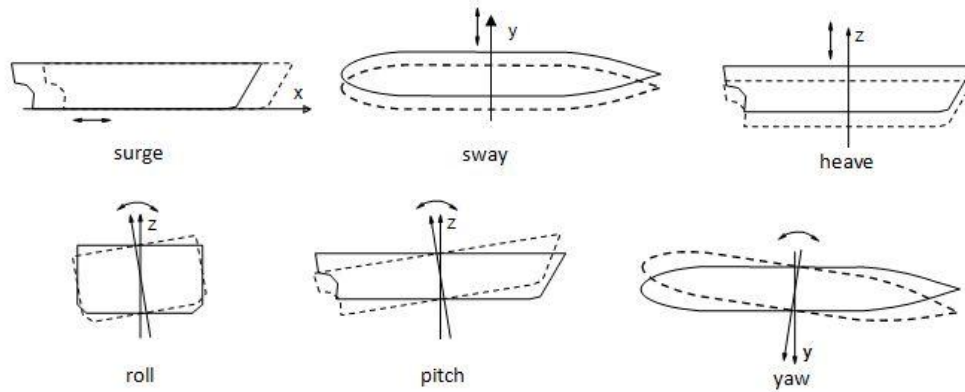
Gerakan kapal dilaut lepas selalu mempunyai dan menimbulkan masalah bagi para perancang kapal. Hal ini merupakan tanggung jawab mereka yang menjamin bahwa kapal tersebut tidak hanya aman tetapi juga nyaman bagi para awak dan penumpang khususnya kapal. Selain itu, kapal juga harus mampu berlayar dalam kondisi cuaca buruk sekalipun. Dalam keadaan cuaca yang buruk kapal dapat mengalami penurunan fungsi dari sistem kerjanya (Rudiyansyah, 2012).

Kapal akan mengalami gerakan yang disebabkan baik dari kapal itu sendiri (*manouverability*) maupun dari faktor luar (*seakeeping*). Faktor *seakeeping* berkaitan dengan kemampuan gerak atau olah gerak kapal tersebut.

*Seakeeping* adalah kemampuan kapal untuk bernavigasi secara aman pada suatu kondisi lingkungan tertentu. Kapal dikatakan memiliki kemampuan *seakeeping* yang baik apabila kapal tersebut mampu beroperasi secara efektif pada kondisi laut yang ekstrim (Ahadyanti G. , 2013)

Suatu kapal yang terapung bebas mempunyai 6 derajat kebebasan yaitu tiga gerakan translasi (Surging, swaying, dan heaving) dan tiga gerakan rotasi (rolling, pitching, dan yawing). Akan tetapi olah gerak kapal dalam beroperasi yang dominan yaitu heaving, pitching, dan rolling.

Gerakan tersebut disebabkan oleh suatu gaya dari luar yang dikenakan pada kapal. Ketika suatu benda diberikan gaya dari luar maka benda tersebut juga akan memberikan respon berkebalikannya.



Gambar 2. 4 Derajat kebebasan kapal terapung

Terkait dengan gerakan (*motion*) kapal hal yang nantinya akan berpengaruh adalah hambatan kapal. Hambatan kapal tersebut terjadi ketika kapal berjalan dengan kecepatan operasionalnya. Analisis yang akan dilakukan adalah mencari karakteristik respon olah gerak kapal dengan *software Ansys-AQWA*. Analisis dilakukan pada kondisi gelombang tempat pelayaran dan variasi kecepatan.

### II.3.1. Gerakan *heaving*

Pada gerakan *heaving* gaya kebawah akibat dari berat kapal membuat kapal tercelup ke air lebih dalam dan kembali ke awal hingga diperoleh kesetimbangan kapal. Ketika gaya *buoyancy* lebih besar akibat kapal tercelup, kapal akan bergerak secara vertikal keatas, ketika posisi kapal telah setimbang lantas tidak berhenti akan tetapi tetap naik dikarenakan ada pengaruh momentum dan kejadian tersebut akan berulang.

Pada kondisi *heaving* ini kapal hanya bergerak secara *vertikal* dalam satu arah yaitu translasi saja, sehingga pendekatan dalam memperhitungkan kondisi *heaving* adalah dengan menggunakan Hukum Newton II. Persamaan umum kapal pada kondisi *heaving* dapat dituliskan sebagai berikut:

$$A \cdot \ddot{Z} + B \cdot \dot{Z} + C \cdot Z = F_0 \cdot \cos \omega_e t \quad (2.9)$$

#### 1. *Inertial Force*

Merupakan percepatan gerakan secara kontinu dari fluida yang terjadi, gaya yang lebih besar dari massa percepatan waktu kapal (Bhattacharyya, 1978)

$$F_a(y) = -A \cdot \ddot{Z} \quad (2.10)$$

Dimana A adalah *virtual mass* atau massa kapal ditambah dengan *added mass*

$(A_n = C \cdot \frac{\rho \pi B_n}{8})$  dan  $\ddot{Z} = \frac{d^2 Z}{dt^2}$  adalah percepatan ke arah vertikal.

## 2. *Damping Force*

*Damping force* selalu bergerak berlawanan arah dari gerakan kapal dan menyebabkan redaman yang berangsur-angsur pada amplitudo gerakan.

$$F_b(y) = B \cdot \dot{Z} \quad (2.11)$$

Dimana B adalah konstanta *damping* atau peredaman ( $B_n = \frac{A\rho g^2}{\omega_e^3}$ ) dan  $\dot{Z} = \frac{dz}{dt}$  atau kecepatan.

## 3. *Restoring force* atau konstanta spring, dimana selalu membawa kapal kepada keadaan yang konstan

$$F_c(y) = C \cdot Z \quad (2.12)$$

Dimana C adalah konstanta *restoring* ( $C = \rho g A_{wp}$ , A adalah beban pada garis air) dan Z adalah displacement pada pusat gravitasi (KG) kapal.

## 4. *Exciting force* atau *encountering force*, yang mana bekerja pada massa kapal

$$F = F_0 \cos \omega_e t \quad (2.13)$$

Dimana  $F_0$  adalah amplitudo dari *encountering force*,  $\omega_e$  adalah *encountering frequency* dan t adalah waktu.

### II.3.2. Gerakan pitching

Berbeda halnya dengan heaving yang bergerak secara translasional. Namun kondisi *pitching* bergerak secara rotasional sehingga pendekatan perhitungan yang dapat diterapkan adalah *Hukum Euler*.

Sebuah benda apung dapat mengalami *simple harmonic motion* yang berupa gerakan dalam arah sumbu *transversal* (x) maupun gerakan dalam arah sumbu *longitudinal* (y), apabila benda apung tersebut mengalami perpindahan posisi keseimbangannya dan kemudian dilepaskan atau dikenakan kecepatan awal sehingga menjauh dari posisi keseimbangannya. Dalam berbagai analisa perhitungan gerakan benda apung mengalami gerakan angular seperti benda apung yang mengalami gerakan *rolling* atau *pitching*, maka perhitungan dan analisa terhadap besarnya gaya momen memegang peranan yang lebih penting dibandingkan dengan perhitungan besarnya gaya itu sendiri.

*Pitching* memiliki persamaan gerak sebagai berikut (Bhattacharya, 1978) :

$$A \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2} + B \cdot \frac{d\theta}{dt} + C \cdot \theta = M_0 \cdot \cos \omega_e t \quad (2.14)$$

- a. Momen inersia, dimana saat kapal mengalami gerakan osilasi digambarkan dalam persamaan

$$M_a(y) = -A \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (2.15)$$

Dimana A adalah *virtual mass* atau massa kapal ditambah dengan *added mass* dan  $\frac{d^2\theta}{dt^2}$  adalah percepatan angular untuk *pitching*.

- b. *Damping moment* adalah momen yang selalu menjadi *resistance* ke model seperti persamaan,

$$M_b(y) = B \cdot \frac{d\theta}{dt} \quad (2.16)$$

Dimana B adalah konstanta *damping* atau peredaman dan  $\frac{d\theta}{dt}$  atau kecepatan angular untuk *pitching*.

- c. *Restoring moment* atau konstanta spring, dimana selalu membawa kapal kepada keadaan yang konstan,

$$M_c(y) = C \cdot \theta \quad (2.17)$$

Dimana C adalah konstanta pemulih atau *restoring* dan  $\theta$  adalah pergeseran angular.

- d. *Exciting moment* atau *encountering moment*, yang mana bekerja pada massa kapal,

$$M = M_0 \cos \omega_e t \quad (2.18)$$

Dimana  $M_0$  adalah amplitudo dari *encountering moment*,  $\omega_e$  adalah *encountering frequency* dan t adalah waktu.

### II.3.3. Gerakan rolling

Rolling adalah gerakan kapal yang mengelilingi sumbu x. Persamaan umum gerakan rolling adalah (Bhattacharya, 1978) :

$$A \cdot \frac{d^2\phi}{dt^2} + B \cdot \frac{d\phi}{dt} + C \cdot \phi = M_0 \cdot \cos \omega_e t \quad (2.19)$$

- a. Momen inersia, dimana saat kapal mengalami gerakan osilasi digambarkan dalam persamaan.

$$M_a(y) = -A \cdot \frac{d^2\phi}{dt^2} \quad (2. 20)$$

Dimana A adalah *virtual mass* atau massa kapal ditambah dengan *added mass* dan  $\frac{d^2\theta}{dt^2}$  adalah percepatan angular untuk *rolling*.

- b. *Damping moment* adalah momen yang selalu menjadi *resistance* ke model seperti persamaan.

$$M_b(y) = B \cdot \frac{d\phi}{dt} \quad (2. 21)$$

Dimana B adalah konstanta *damping* atau peredaman dan  $\frac{d\phi}{dt}$  atau kecepatan angular untuk *rolling*.

- c. *Restoring moment* atau konstanta spring, dimana selalu membawa kapal kepada keadaan yang konstan.

$$M_c(y) = C \cdot \theta \quad (2. 22)$$

Dimana C adalah konstanta pemulih atau *restoring* dan  $\theta$  adalah pergeseran angular.

- d. *Exciting moment* atau *encountering moment*, yang mana bekerja pada massa kapal.

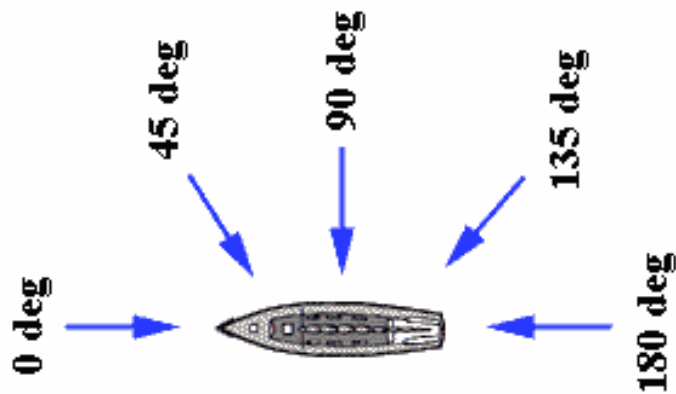
$$M = M_0 \cos \omega_e t \quad (2. 23)$$

Dimana  $M_0$  adalah amplitudo dari *encountering moment*,  $\omega_e$  adalah *encountering frequency* dan t adalah waktu.

#### II.3.4. Arah gerakan kapal terhadap gelombang

Ketika kapal beroperasi baik dalam kondisi stationer atau diam maupun bergerak dengan kecepatan tertentu, akan menghadapi gelombang yang datang dari berbagai arah. Perbedaan arah eksitasi gelombang akan mempunyai dampak intensitas gerakan yang berbeda-beda dalam 6 derajat kebebasannya. Perbedaan intensitas tersebut jelas terjadi karena perbedaan pola aliran yang timbul di medan fluida sekitar benda.

Arah Gelombang ( $\mu$ ) didefinisikan sebagai sudut antara arah datangnya gelombang dengan arah kapal. Selanjutnya dapat diberikan nilai  $\mu=0^\circ$  jika arah datangnya gelombang sama dengan arah kapal. Sebaliknya jika arah datangnya gelombang berlawanan dengan arah kapal, maka nilai  $\mu=180^\circ$ . Dengan kata lain  $\mu=0^\circ$  adalah sama dengan gelombang yang datang dari arah buritan kapal, sedangkan  $\mu=180^\circ$  adalah gelombang yang datang dari arah haluan kapal.



Gambar 2. 5 Arah gerakan kapal terhadap gelombang  
Sumber: (Napitupulu, 2011)

Ada beberapa istilah yang lazim digunakan untuk mengidentifikasi arah datangnya gelombang, antara lain:

1. Gelombang yang mempunyai arah  $\mu = 0^\circ$  biasa disebut dengan *following seas* atau gelombang buritan.
2. Gelombang yang mempunyai arah  $\mu = 180^\circ$  biasa disebut *head seas*.
3. Gelombang yang mempunyai arah  $\mu = 90^\circ$  dan  $\mu = 270^\circ$  biasa disebut dengan *beam seas* atau gelombang sisi, yang dibagi lagi menjadi dua yaitu *port beam* dan *starboard beam*.

Sedangkan untuk gelombang-gelombang lain dengan arah, miring, menyilang atau diagonal lazim disebut dengan *oblique seas*. (Sholihin A. R., 2015)

### II.3.5. Frekuensi dan periode alami

Pada kondisi ideal dimana suatu sistem bergerak tanpa menerima redaman, maka bila padanya diberikan simpangan dan kemudian dilepaskan, sistem akan berosilasi terus dengan amplitudo dan frekuensi yang tetap. Frekuensi adalah banyaknya *cycle* yang terjadi selama satu detik. Periode, kebalikan dari frekuensi, adalah waktu yang diperlukan untuk satu *cycle* terpendek pada getaran. Dalam hal demikian, yang dinamakan sistem tak teredam atau *undamped*, maka frekuensi gerakannya adalah disebut frekuensi natural dan periodenya disebut periode natural. (Djarmiko, 2012)

Frekuensi, dan sebaliknya periode natural gerakan penting untuk diketahui pada suatu sistem dinamis yang bergerak dalam mode osilasi, seperti bangunan apung dan kapal di atas gelombang. Pemahaman tentang frekuensi natural akan memberikan acuan bagi perancang, pada tahap perancangan, atau operator pada tahap pengoperasian, untuk menghindari terjadinya

resonansi akan menjadikan repons, gerakan bangunan apung dalam hal ini, menjadi berlebihan, dan selanjutnya tentunya akan membahayakan keselamatannya. (Djatkiko, 2012)

Pada bangunan yang mengapung bebas tanpa pengikatan, hanya akan ada tiga mode gerakan yang mempunyai frekuensi natural, yakni pada mode *heave*, *roll*, dan *pitch*. Sedangkan mode lainnya tidak mempunyai frekuensi natural, karena secara teknis tidak mempunyai mekanisme kekakuan sendiri, yang akan bermanifestasi menjadi gaya pengembali. (Djatkiko, 2012)

Frekuensi alami gerakan *heave*:

$$\omega_{nz} = \sqrt{\frac{k_{33}}{m_{33} + a_{33}}} = \sqrt{\frac{\rho g A_w}{m + a_{33}}} \quad (2.24)$$

Frekuensi alami gerakan *roll*:

$$\omega_{n\phi} = \sqrt{\frac{k_{44}}{I_{44} + a_{44}}} = \sqrt{\frac{\rho g \nabla GM_T}{I_{44} + a_{44}}} \quad (2.25)$$

Frekuensi alami gerakan *pitch*:

$$\omega_{n\theta} = \sqrt{\frac{k_{55}}{I_{55} + a_{55}}} = \sqrt{\frac{\rho g \nabla GM_L}{I_{55} + a_{55}}} \quad (2.26)$$

Periode alami:

$$T_n = \frac{2\pi}{\omega_n} \quad (2.27)$$

Dimana:

- $k_{33}$  : kekakuan gerakan heave (kN)
- $k_{44}$  : kekakuan gerakan roll (kN)
- $k_{55}$  : kekakuan gerakan pitch (kN)
- $m$  : massa atau displacement bangun apung (ton)
- $I_{44}$  : momen inersia massa untuk gerakan roll (ton.m<sup>2</sup>)
- $I_{55}$  : momen inersia massa untuk gerakan pitch (ton.m<sup>2</sup>)
- $a_{33}$  : massa tambahan untuk gerakan heave (ton)
- $a_{44}$  : momen inersia tambah untuk gerakan roll (ton.m<sup>2</sup>)
- $a_{55}$  : momen inersia tambah untuk gerakan pitch (ton.m<sup>2</sup>)
- $\rho$  : massa jenis air laut (1.025 ton/ m<sup>3</sup>)
- $g$  : percepatan gravitasi (9.81 m/s<sup>2</sup>)
- $A_w$  : luas garis air (m<sup>2</sup>)

$\nabla$  : volume displacement bangunan laut ( $\text{m}^3$ )

$GM_L$  : Tinggi metasenter memanjang (m)

$GM_T$  : Tinggi metasenter melintang (m)

### II.3.6. Response Amplitude Operators (RAO)

Gerakan suatu kapal pada gelombang reguler disebut sebagai *Response Amplitude Operators (RAOs)*. RAO merupakan informasi tentang karakteristik gerakan kapal itu sendiri. Informasi karakteristik gerakan kapal ini umumnya disajikan dalam bentuk grafik, dimana absisnya adalah parameter frekuensi dan ordinatnya adalah rasio antara amplitudo gerakan pada derajat kebebasan tertentu dengan amplitudo gelombang atau RAO gerakan tersebut.

Respon gerakan RAO, untuk gerakan translasi (*surge*, *sway* dan *heave*) adalah merupakan perbandingan langsung antara amplitudo gerakan kapal dengan amplitudo gelombang.

$$RAO = \frac{\zeta k_0}{\zeta_0} \left( \frac{\text{m}}{\text{m}} \right) \quad (2.28)$$

Sedangkan, Respon gerakan RAO, untuk gerakan rotasi (*roll*, *pitch*, dan *yaw*) adalah merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan rotasi (dalam radian) dengan kemiringan gelombang, yakni merupakan perkalian antara angka gelombang ( $k$ ) dengan amplitudo gelombang.

$$RAO = \frac{\zeta k_0}{k_w \zeta_0} = \frac{\zeta k_0}{\left( \frac{\omega^2}{g} \right) \zeta_0} \left( \frac{\text{rad}}{\text{rad}} \right) \quad (2.29)$$

RAO dapat diperoleh dari tes model pada *towing tank*, perhitungan analitis, maupun simulasi numerik dengan perangkat lunak. Rangkuman rumus umum RAO untuk 6 derajat kebebasan dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2. 1 Rumus Umum RAO

No.	Gerakan	RAO	No.	Gerakan	RAO
1	<i>Surge</i>	$(x_a/\zeta_a)^2$	4	<i>Roll</i>	$(\Phi_a/\zeta_a)^2$
2	<i>Sway</i>	$(y_a/\zeta_a)^2$	5	<i>Pitch</i>	$(\Theta_a/\zeta_a)^2$
3	<i>Heave</i>	$(z_a/\zeta_a)^2$	6	<i>Yaw</i>	$(\Psi_a/\zeta_a)^2$

Dimana:

$\zeta_a$  : Amplitudo gelombang

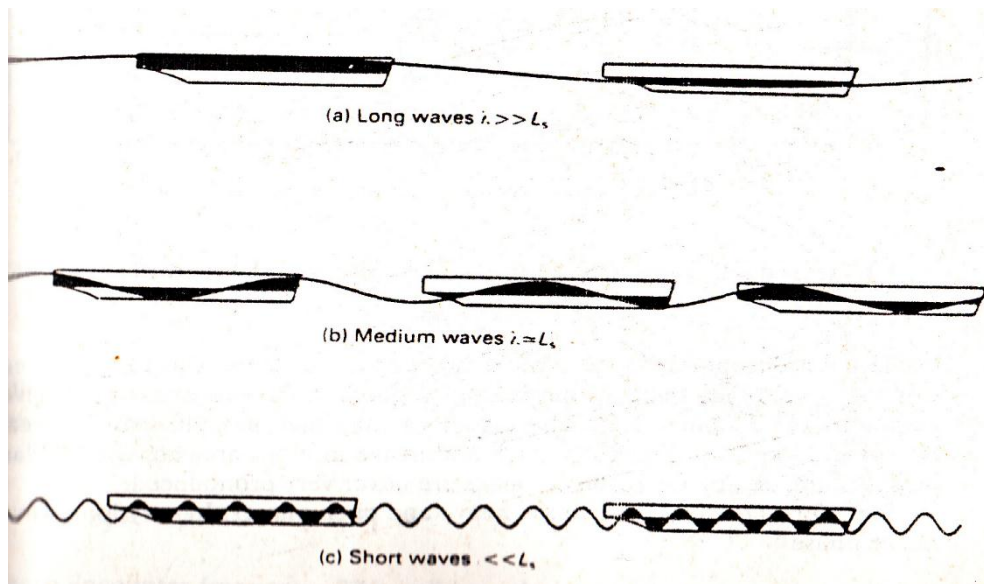
$x_a$  : Amplitudo gerakan *surge*



- $y_a$  : Amplitudo gerakan *sway*  
 $z_a$  : Amplitudo gerakan *heave*  
 $\Phi_a$  : Amplitudo gerakan *roll*  
 $\Theta_a$  : Amplitudo gerakan *pitch*  
 $\psi_a$  : Amplitudo gerakan *yaw*

RAO disebut juga sebagai *Transfer function* karena dapat digunakan untuk mentransformasikan beban gelombang menjadi respon struktur.

Pada gelombang yang panjang, nilai frekuensi gelombang sangat kecil dan efek dinamis yang terkait dengan *added mass* dan *damping* secara virtual dapat diabaikan. Jadi eksitasi dan reaksi yang dialami oleh kapal sebagian besar disebabkan oleh perubahan *buoyancy* kapal saat gelombang melewati lambung kapal.



Gambar 2. 6 Gelombang panjang, medium dan pendek  
 Sumber: (Sholihin A. R., 2015)

### II.3.7. Spektrum gelombang

Sebuah gelombang reguler memuat energi yang diidentifikasi pada setiap unit atau satuan luas permukaannya ekuivalen dengan harga kuadrat amplitudonya (Djarmiko, 2012). seperti yang ditunjukkan pada persamaan di bawah ini:

$$\frac{dE_T}{dA} = \frac{dE_P + dE_K}{dA} = \frac{1}{2} \rho g \zeta_o^2 \quad (2. 30)$$

Dimana:

- $dE_T$  : energi total  
 $dA$  : luas permukaan

$dE_p$  : energi potensial

$dE_K$  : energi kinetik

$\zeta_o$  : amplitudo gelombang

Mengacu pada hal ini, maka energi yang dimuat dalam sebuah gelombang acak (*irregular wave*) adalah merupakan penjumlahan energi yang dikontribusikan oleh semua komponen gelombang regulernya. Adapun energi yang dikontribusikan oleh komponen gelombang reguler ke-n adalah:

$$E_n = \frac{1}{2} \rho g \zeta_{no}^2 \quad (2.31)$$

Penjumlahan energi dari seluruh komponen gelombang reguler per satuan luas permukaan dapat diekspresikan sebagai kepadatan spektrum gelombang atau lebih dikenal dengan istilah spektrum gelombang. (Ahadyanti G. M., 2015)

Bersamaan dengan semakin meningkatnya intensitas studi yang dilakukan mengenai respon gerak pada gelombang acak telah banyak dihasilkan spectrum gelombang yang beragam sesuai dengan kondisi lingkungan yang dianalisis. Jenis-jenis spektrum gelombang yang biasa digunakan dalam perhitungan adalah model *Pierson-Moskowitz (1964)*, *ISSC (1964)*, *Scott (1965)*, *Bretschneider (1969)*, *JONSWAP (1973)*, *ITTC (1975)* dan *Wang (1991)*. Spektrum gelombang yang digunakan dalam analisis ini mengacu pada spektrum gelombang *JONSWAP* karena karakteristik perairan Indonesia yang tertutup/kepulauan sehingga cocok dengan karakter spektrum *JONSWAP*. (Djarmiko, 2012)

Spektrum *JONSWAP* didasarkan pada percobaan yang dilakukan di North Sea. Persamaan spektrum *JONSWAP* dapat dituliskan dengan memodifikasi persamaan spektrum *Pierson-Moskowitz*, menjadi:

$$S_j(\omega) = A_\gamma S_{pm}(\omega) \gamma^{\exp(-0,5\left(\frac{\omega-\omega_p}{\sigma\omega_p}\right)^2)} \quad (2.32)$$

Dimana:

$S_{pm}(\omega)$  : Spektra Pierson-Moskowitz

$$S_{pm}(\omega) = \frac{5}{16} H_s^2 \omega_p^4 \omega^{-5} \exp\left(-\frac{5}{4}\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{-4}\right) \quad (2.33)$$

$\gamma$  : parameter puncak (*peakedness parameter*)

$\sigma$  : parameter bentuk (*shape parameter*) untuk  $\omega \leq \omega_o = 0,07$  dan  $\omega \geq \omega_o = 0,09$

$A_\gamma$  : *normalizing factor* =  $1 - 0.287 \ln(\gamma)$

- $\omega$  : wave frequency (rad/sec)
- $\omega_p$  : angular spectral peak frequency (rad/sec)
- $H_s$  : tinggi gelombang signifikan (m)
- $T_p$  : periode puncak (s)

## II.4. Tingkat Emisi Gas Buang Kapal

Emisi gas buang adalah sisa hasil pembakaran di dalam mesin pembakaran dalam, mesin pembakaran luar, dan mesin jet yang dikeluarkan melalui sistem pembuangan mesin (Wikipedia.org, 2016) . Meskipun polusi udara yang ditimbulkan oleh kapal tidak memiliki efek langsung, seperti tumpahan minyak. Tetapi, efek kumulatif yang ditimbulkan menyebabkan masalah kualitas udara yang dihadapi penduduk di berbagai daerah, serta mempengaruhi lingkungan alam (Marpol 73/78 Annex VI, 2005) . Konvensi internasional untuk perlindungan terhadap polusi dari kapal (*Marine Pollution/MARPOL*) merupakan konvensi utama yang melingkupi pencegahan polusi lingkungan oleh operasional kapal ataupun oleh sebab kecelakaan.

*MARPOL Annex VI* pertama kali diadopsi pada tahun 1997 oleh IMO. Konvensi tersebut kemudian direvisi pada tahun 2005 dan diberlakukan pada tahun 2010 hingga sekarang. *MARPOL* berpusat untuk membatasi polusi udara yang terkandung dalam gas buang kapal, seperti sulfur oksida (Sox), Nitrogen Oksida (NOx), dan gas rumah kaca (dalam hal ini CO<sub>2</sub>). Regulasi internasional yang terbaru menitik beratkan pada efisiensi diatas kapal yang mulai berlaku pada 1 januari 2013, sedangkan persyaratan lebih ketat untuk sulfur diberlakukan pada wilayah spesifik tertentu pada tahun 2015 dan secara global pada tahun 2020.

### II.4.1. Energy Efficiency Design Index (EEDI)

*Energy Efficiency Design Index* (EEDI) adalah ukuran wajib tentang efisiensi energi untuk mencegah polusi dari kapal-kapal laut. EEDI ini digunakan untuk memantau dan mengukur tingkat emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh kapal. Melalui *International Maritime Organization* (IMO) memperkenalkan persyaratan operasional khusus untuk meminimalisir emisi ini. Emisi CO<sub>2</sub> memiliki dampak buruk terhadap iklim global. Untuk memantau dan mengukur emisi ini IMO telah mengharuskan pemakaian EEDI ini. (Molland, Turnock, Hudson, & Utama, 2012)

Bentuk dasar dari index ini adalah:

$$\text{EEDI} = \frac{\text{CO2 emission}}{\text{Transport work}} \quad (2.34)$$

Dengan bentuk umum seperti diatas, maka yang dikeluarkan oleh IMO 2012 adalah sbb:

$$\text{EEDI} = \frac{P \times \text{sfc} \times \text{cf}}{C \times V} \text{ gmCO}_2/\text{tonne.mile} \quad (2.35)$$

Dimana P adalah (kW), *sfc* adalah konsumsi bahan bakar spesifik (gm/kW.hr),  $C_F$  konversi CO<sub>2</sub> (tonne CO<sub>2</sub>/tonne fuel), C adalah kapasitas dari muatan kapal (deadweight tonnes or Gross Tonnage) and V adalah kecepatan kapal (nautical miles /hr (knots), or km/hr). Dengan demikian, Energy Efficiency Design Index (EEDI) dapat dilihat sebagai ukuran efisiensi CO<sub>2</sub>. Bentuk rumus perhitungan diatas jika dijabarkan akan menjadi :

$$\frac{(\sum_{j=1}^n f_j) \cdot (\sum_{i=1}^{n_{ME}} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)}) + P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE} + \{(\sum_{j=1}^n f_j) \cdot \sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} \cdot P_{AEeff(i)}\} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE} - \sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME}}{f_i \cdot f_c \cdot \text{Capacity} \cdot f_w \cdot V_{ref}}$$

Sumber: (IMO, 2012)

Keterangan :

*Engine power (P)*

Tenaga mesin pada 75% *Maximum Continous Rating* (MCR)

$P_{eff(i)}$  : Daya mesin induk dengan pengurangan dari teknologi efisiensi

$P_{Aeff(i)}$  : Daya mesin bantu dengan pengurangan dari teknologi efisiensi

$P_{PTI(i)}$  : Daya dari individual shaft motor

$P_{AE}$  : Daya dari mesin yang dibutuhkan untuk sarat maksimal

$P_{ME(i)}$  : Daya mesin induk

*CO<sub>2</sub> Emissions (C)*

$C_{FME}$  : Faktor bahan bakar mesin induk (gabungan)

$C_{FAE}$  : Faktor bahan bakar mesin bantu

$C_{FME(i)}$  : Faktor bahan bakar mesin induk

*Specific Fuel Consumption (SFC)*

$SFC_{ME}$  : SFC mesin induk (gabungan)

$SFC_{AE}$  : SFC mesin bantu

$SFC_{AE*}$  : SFC mesin bantu (d disesuaikan dengan generator poros)

$SFC_{ME(i)}$  : SFC mesin induk

*Correction and Adjustment factors (f)*

$f_{eff(i)}$  : Faktor efisiensi teknologi

- $f_j$  : Koreksi faktor untuk desain tertentu (kapal es dengan lambung tebal)
- $f_w$  : koefisien yang menunjukkan penurunan kecepatan karena cuaca dan keadaan lingkungan
- $f_i$  : faktor penyesuaian untuk keterbatasan regulasi (=1 jika tidak ada)

Bentuk persamaan tersebut akan terdiri dari kekuatan pendorong dan tambahan, kapasitas muatan dan juga perlu diperhatikan kondisi dari muatan tersebut. Kecepatan yang digunakan adalah kecepatan dari desain kapal dan beberapa variasi kecepatan dalam operasi berdasarkan kapasitas beban mesin. Selain itu perlu juga dipertimbangkan kondisi dari perairan di daerah pelayaran kapal. Sehingga penurunan daya pendorong harus tercapai dan akan berpengaruh terhadap besar konsumsi bahan bakar ( $sfc$ ).

Pada *IMO Regulation 21 – Required EEDI*, dijelaskan batas nilai emisi EEDI yang diharuskan. Pada regulasi ini nilai batas EEDI menggunakan rumus yang didapatkan melalui analisis regresi dari sejumlah besar data dan persamaan pada diagram. Diagram yang dimaksud yaitu *EEDI reference line* yang berisi nilai EEDI berdasarkan kapasitas muatan kapal. Pada regulasi 21 menggunakan formulasi sebagai berikut. (IMO, 2016)

$$\text{Reference EEDI} = a * b^{-c} \quad (2.36)$$

Dimana

$b$  : Kapasitas kapal

$a$  dan  $c$  : konstanta untuk setiap jenis kapal dan termasuk dalam peraturan

Tabel 2. 2 Parameter  $a$ ,  $b$ , dan  $c$  untuk beberapa tipe kapal

Ship type defined in regulation 2	$a$	$b$	$c$
2.25 Bulk carrier	961.79	DWT of the ship	0.477
2.26 Gas carrier	1120.00	DWT of the ship	0.456
2.27 Tanker	1218.80	DWT of the ship	0.488
2.28 Container ship	174.22	DWT of the ship	0.201
2.29 General cargo ship	107.48	DWT of the ship	0.216
2.30 Refrigerated cargo carrier	227.01	DWT of the ship	0.244
2.31 Combination carrier	1219.00	DWT of the ship	0.488
2.33 Ro-ro cargo ship (vehicle carrier)	$(\text{DWT/GT})^{-0.7} \cdot 780.36$ where $\text{DWT/GT} < 0.3$	DWT of the ship	0.471
2.34 Ro-ro cargo ship	1405.15	DWT of the ship	0.498
2.35 Ro-ro passenger ship	752.16	DWT of the ship	0.381
2.38 LNG carrier	2253.7	DWT of the ship	0.474
2.39 Cruise passenger ship having non-conventional propulsion	170.84	GT of the ship	0.214

Faktor reduksi untuk perhitungan EEDI dijelaskan oleh IMO sebagai berikut.

Tabel 2. 3 EEDI reduction factor (resolution MEPC.203(62) and MEPC.251(66))

Ship Type	Size	Phase 0 1 Jan 2013 – 31 Dec 2014	Phase 1 1 Jan 2015 – 31 Dec 2019	Phase 2 1 Jan 2020 – 31 Dec 2024	Phase 3 1 Jan 2025 and onwards
Bulk carrier	20,000 DWT and above	0	10	20	30
	10,000 – 20,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Gas carrier	10,000 DWT and above	0	10	20	30
	2,000 – 10,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Tanker	20,000 DWT and above	0	10	20	30
	4,000 – 20,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Container ship	15,000 DWT and above	0	10	20	30
	10,000 – 15,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
General Cargo ships	15,000 DWT and above	0	10	15	30
	3,000 – 15,000 DWT	n/a	0-10*	0-15*	0-30*
Refrigerated cargo carrier	5,000 DWT and above	0	10	15	30
	3,000 – 5,000 DWT	n/a	0-10*	0-15*	0-30*
Combination carrier	20,000 DWT and above	0	10	20	30
	4,000 – 20,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
LNG carrier***	10,000 DWT and above	n/a	10**	20	30
Ro-ro cargo ship (vehicle carrier)***	10,000 DWT and above	n/a	5**	15	30
Ro-ro cargo ship***	2,000 DWT and above	n/a	5**	20	30
	1,000 – 2,000 DWT	n/a	0-5*,**	0-20*	0-30*
Ro-ro passenger ship***	1000 DWT and above	n/a	5**	20	30
	250 – 1,000 DWT	n/a	0-5*,**	0-20*	0-30*
Cruise passenger ship*** having non-conventional propulsion	85,000 GT and above	n/a	5**	20	30
	25,000 – 85,000 GT	n/a	0-5*,**	0-20*	0-30*

Note: n/a means that no required EEDI applies.

\* Reduction factor to be linearly interpolated between the two values dependent upon ship size. The lower value of the reduction factor is to be applied to the smaller ship size.

\*\* Phase 1 commences for those ships on 1 September 2015.

\*\*\* Reduction factor applies to those ships delivered on or after 1 September 2019, as defined in paragraph 43 of regulation 2.

Dengan menggunakan referensi diatas maka perhitungan *Required EEDI* menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\text{Required EEDI} = (1-X/100) * (\text{Reference EEDI}) \quad (2. 37)$$

Dimana:

X : Reduction rate; disetujui dan terdapat dalam regulasi

Required EEDI : Batas peraturan EEDI kapal

Batas peraturan EEDI hanya berlaku untuk kapal-kapal yang disebutkan dalam Tabel 2.2 dan ukuran kapal yang ditentukan dalam Tabel 2.3. Pada regulasi 22 ditetapkan bahwa EEDI kapal (*Attained EEDI*) harus kurang atau sama dengan EEDI yang disyaratkan (*Required EEDI*). (IMO, 2016)

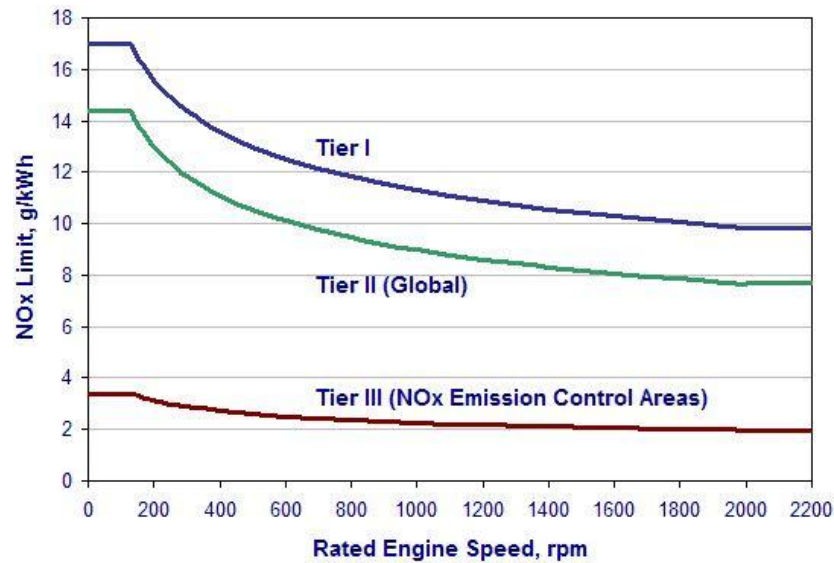
$$\text{Attained EEDI} \leq \text{Required EEDI} \quad (2.38)$$

#### II.4.2. Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>)

Kontrol emisi NO<sub>x</sub> pada mesin dilakukan dengan cara survei dan sertifikasi. Dimana hal tersebut mengacu terhadap *Engine International Air Pollution Prevention* (EIAPP). Persyaratan kontrol NO<sub>x</sub> dari *MARPOL Annex VI Regulation 13* berlaku untuk mesin diesel laut yang terpasang dengan *output power* lebih dari 130kW, selain yang digunakan untuk keadaan darurat. Definisi ‘terpasang’ tersebut menerapkan berdasarkan tanggal pemasangan mesin pada kapal. Hal tersebut membedakan tingkat kontrol emisi yang berbeda atau disebut *Tier*. Pada setiap *Tier* mempunyai nilai batas yang berbeda yang ditentukan dari nilai kecepatan mesin. (Marpol 73/78 Annex VI, 2005)

Tabel 2. 4 *MARPOL Annex VI NO<sub>x</sub> Emission Limits*

Tier	Ship construction date on or after	Total weighted cycle emission limit (g/kWh) n = engine's rated speed (rpm)		
		n < 130	n = 130 - 1999	n ≥ 2000
<b>I</b>	1 January 2000	17.0	$45 \cdot n^{(-0.2)}$ e.g., 720 rpm – 12.1	9.8
<b>II</b>	1 January 2011	14.4	$44 \cdot n^{(-0.23)}$ e.g., 720 rpm – 9.7	7.7
<b>III</b>	1 January 2016*	3.4	$9 \cdot n^{(-0.2)}$ e.g., 720 rpm – 2.4	2.0



Gambar 2. 7 MARPOL Annex VI NOx Emission Limits

Tier III hanya berlaku untuk kapal-kapal yang ditentukan ketika beroperasi di *Emission Control Area (ECA)* dibentuk untuk membatasi emisi NOx, diluar dari daerah penerapan Tier II. Mesin diesel yang dipasang pada kapal yang dibangun pada atau setelah tanggal 1 januari 2016 dan beroperasi di Amerika Utara (ECA dan Amerika Serikat laut Carribean ECA harus sesuai dengan standar NOX tier III.

Sesuai dengan Perpres no 29 tahun 2012 Lampiran VI, dimana kapal-kapal yang berlayar di bawah otoritas pemerintah wajib mengikuti peraturan MARPOL Annex IV. sehingga kapal-kapal tersebut juga wajib untuk menerapkan kontrol emisi NOx. (Perpres No 29, 2012)

Untuk mengestimasi besar nilai emisi dari Nitrogen Oksida (NOx) dapat menggunakan perhitungan sebagai berikut. (Trozzi & Vaccaro, 1998)

$$E_{\text{Trip}} = FC \times EF \quad (2. 39)$$

Dimana:

$E_{\text{Trip}}$  : Emission over a complete trip (tonnes)

FC : Fuel consumption (tonnes)

EF : Emission factor (kg/tonne)

#### II.4.3. Sulfur Oksida (SOx)

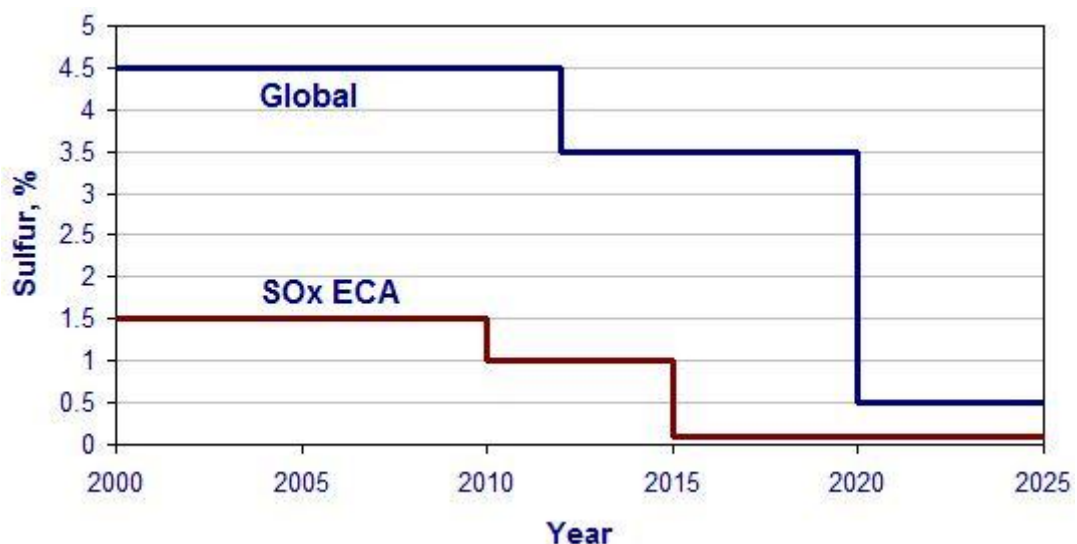
Peraturan untuk kandungan sulfur bahan bakar minyak adalah termasuk dalam MARPOL Annex IV sebagai ukuran untuk mengontrol emisi SOx. Peraturan ini berlaku pada daerah *Emission Control Areas (ECA)* dan daerah diluar kawasan tersebut. Aturan ini untuk



membatasi kandungan sulfur maksimum dari bahan bakar minyak yang dimuat, saat sandar, atau yang nantinya digunakan kapal.

Tabel 2. 5 *MARPOL Annex VI Fuel Sulfur Limit*

Outside an ECA established to limit SOx and particulate matter emissions	Inside an ECA established to limit SOx and particulate matter emissions
4.50% m/m prior to 1 January 2012	1.50% m/m prior to 1 July 2010
3.50% m/m on and after 1 January 2012	1.00% m/m on and after 1 July 2010
0.50% m/m on and after 1 January 2020*	0.10% m/m on and after 1 January 2015



Gambar 2. 8 Emisi Sox per tahun  
Sumber: (Marpol 73/78 Annex VI, 2005)

Daerah yang termasuk dalam ECA adalah:

1. Laut Baltik (hanya SOx)
2. Laut Utara – marpol (hanya SOx)
3. Amerika Utara (efektif berlaku 1 Agustus 2012) (SOx dan NOx)
4. Amerika serikat laut Carribean (SOx dab NOx)

Kapal yang baik diluar maupun didalam ECA akan beroperasi pada bahan bakar minyak yang berbeda untuk mematuhi batas masing-masing. Oleh karena itu tingkat awal kontrol adalah pada kandungan sulfur saat bahan bakar berada pada bunker. Nilai besar sulfur yang terkandung harus diberikan oleh pemasok bahan bakar minyak.

Pada kapal-kapal yang beroperasi pada daerah kontrol emisi harus membawa prosedur tertulis yang menunjukkan bagaimana pergantian bahan bakar dilakukan. Volume dari bahan bakar bersulfur rendah disetiap tangki wajib dicatat dalam buku harian kapal (*Logbook*) seperti yang diisyaratkan oleh pemerintah. Termasuk tanggal, waktu, dan posisi kapal ketika proses pergantian bahan bakar telah selesai dilakukan sebelum memasuki daerah kontrol emisi atau dilaksanakan setelah keluar dari daerah tersebut. (Marpol 73/78 Annex VI, 2005)

## **II.5. Automatic Identification System (AIS)**

Adalah sebuah sistem pelacakan otomatis digunakan pada kapal dan dengan pelayanan lalu lintas kapal (VTS) untuk mengidentifikasi dan menemukan kapal oleh elektronik pertukaran data dengan kapal lain di dekatnya, BTS AIS, dan satelit. Ketika satelit digunakan untuk mendeteksi tanda AIS maka istilah Satellite-AIS (S-AIS) digunakan. Informasi AIS melengkapi radar laut, yang terus menjadi metode utama menghindari tabrakan untuk transportasi air.

Informasi yang disediakan oleh peralatan AIS, seperti identifikasi yang unik, posisi, arah dan kecepatan, dapat ditampilkan pada layar atau ECDIS. AIS dimaksudkan untuk membantu petugas *watch standing* kapal dan memungkinkan otoritas maritim untuk melacak dan memantau pergerakan kapal. AIS mengintegrasikan VHF transceiver standar dengan positioning system seperti GPS atau penerima LORAN-C, dengan sensor navigasi elektronik lainnya, seperti *gyrocompass* atau tingkat indikator gilirannya. Kapal dilengkapi dengan AIS *transceiver* dan *transponder* dapat dilacak oleh BTS AIS terletak di sepanjang garis pantai atau, ketika keluar dari jangkauan jaringan terrestrial.

Pada kasus ini sistem *Automatic Identification System (AIS)* digunakan untuk menentukan kecepatan kapal. Sehingga dengan kecepatan yang berbeda dari kecepatan dinas kapal tidak akan mengganggu lalu lintas pelayaran di daerah tersebut. (Wikipedia.org, 2016)

## **II.6. Software Maxsurf**

*Maxsurf* adalah salah satu *software* dari perusahaan *Bentley*. *Software* ini dapat digunakan untuk analisis pada banyak bidang. Seperti: stabilitas pada *maxsurf stability*; hambatan pada *maxsurf resistance*, dalam pembuatan model pada *maxsurf modeler*, dan lain-lain.

### **II.6.1. Maxsurf 3D modeler**

*Maxsurf Modeler* adalah salah satu *software* yang dirancang dan dikembangkan untuk teknik pemodelan 3D bentuk badan kapal. Selain itu *software* ini juga dapat digunakan untuk pemodelan bentuk 3D yang lain, seperti mobil, pesawat, dan produk industri lainnya. Dasar pemodelan pada *software* ini adalah dengan merubah *surface* yang pada mulanya bidang datar kemudian dirubah menjadi bentuk yang diinginkan dengan menggeser titik-titik acuan yang biasa disebut dengan *control point*. Macam-macam *Surface* pada *maxsurf* antara lain :

a. *NURB (Non Uniform Rational B-Spline)*

*Surface NURB* merupakan *surface* yang mampu mempresentasikan kurva dan *surface conic* secara akurat. *Surface* jenis ini menghitung bentuk secara matematis dari data posisi *control point*, pemberatan *control point* dan kekakuan *surface* pada arah memanjang dan melintang. Pemberatan *control point* dapat diatur secara berbeda pada tiap *surface*.

b. *B-Spline*

*Surface* dengan tipe ini mempunyai *control point* yang seragam, sehingga memberikan keuntungan dengan proses perhitungan yang lebih cepat. *Surface* tipe ini memiliki kelemahan tidak dapat mempresentasikan *conic* secara akurat. Jenis *surface* inilah yang paling banyak digunakan dalam berabagai situasi

c. *Conic*

*Surface tipe conic* merupakan *surface* dengan mode *NURB* otomatis, dengan artian pemberat pada *control point* dapat diatur seccara otomatis oleh *software Maxsurf*. Penggunaan *surface* ini biasa digunakan dalam pembuatan model haluan kapal *bow cone* atau haluan kerucut secara presisi.

d. *Develoble*

*Surface* ini dibentuk dari lembaran plat datar tanpa peregangan material. Tipe *develoble* berasal dari sisi *surface B-Spline* dan kumpulan titik *offset* yang dihasilkan dari tiap *station*.

### **II.6.2. Maxsurf resistance**

*Software Maxsurf Resistance* adalah *software* yang dapat digunakan untuk membantu menganalisa model kapal dengan berbagai metode sehingga dapat memperkirakan hambatan dan power kapal yang dibutuhkan. Berbagai algoritma disediakan sehingga memungkinkan untuk memilih metode paling tepat untuk lambung yang dibuat.

Metode perhitungan yang tersedia pada Software ini yaitu:

- *Savitsky pre-planing and planing*
- *Lahtiharju for planing vessels*
- *Blount & Fox for planning vessels*
- *Holtrop and Compton for fast displacement hulls*
- *Fung and Series 60 for ships*
- *Van Oortmerssen for full form hulls such as tugs and trawlers*
- *Delft systematic yacht series for sailing yachts*

Metode-metode diatas digunakan untuk mencari hambatan dari lambung kapal dengan menggunakan rumus pendekatan. Hasil yang didapatkan dari software ini berupa format tabel dan grafis.

## **II.7. Computational Fluid Dynamic (CFD)**

*Computational Fluid Dynamic (CFD)* merupakan suatu program yang dapat digunakan untuk menganalisa aliran fluida beserta karakteristik yang ditimbulkan akibat Bergeraknya suatu benda pada aliran fluida tersebut. Selain itu CFD adalah salah satu metode perhitungan dalam sebuah kontrol dimensi, luas, dan volume dengan memanfaatkan bantuan komputer dalam melakukan perhitungan disetiap elemen-elemen pembaginya. Prinsip perhitungan CFD diawali dengan membagi domain fluida menjadi sejumlah elemen terintegrasi. Setiap elemen tersebut dikontrol oleh suatu persamaan dengan menggunakan perhitungan numerik, untuk kemudian diperoleh hasil berupa gaya – gaya yang bekerja pada model ataupun keterangan lain yang dapat menggambarkan kondisi model pada kondisi batas tertentu. kondisi batas dalam hal ini diperlukan sebagai input. Prinsip ini sering dipakai proses perhitungan dengan menggunakan bantuan komputasi komputer. CFD juga mendefinisikan sebagai suatu proses analisa terhadap suatu sistem tertentu yang melibatkan masalah perpindahan panas, aliran fluida, distribusi kecepatan dan fenomena terkait dengan dinamika fluida dimana proses perhitungan dan analisa dilakukan dengan menggunakan komputer (Versteeg dan Malalasekera)

Penggunaan CFD untuk tujuan eksperimen memberikan keuntungan yang lebih jika dibandingkan dengan eksperimen dengan menggunakan model. Efisiensi waktu dan jumlah pengujian yang tak terbatas serta hasil yang didapatkan dapat diperoleh sesuai dengan pemberian kondisi batas yang diterapkan dan dapat dianalisis disetiap waktu.

### II.7.1. Persamaan dasar dinamika fluida pada CFD

Persamaan dasar CFD menggunakan persamaan dasar (*governing equation*) dinamika fluida begitu pula untuk semua jenis CFD seperti pada persamaan matematis lainnya, persamaan dinamika fluida memerlukan variabel input untuk mendapatkan suatu nilai hasil, yaitu persamaan kontinuitas, momentum dan energi. Persamaan-persamaan ini merupakan pernyataan matematis untuk tiga prinsip dasar fisika:

1. Hukum Kekekalan Massa (*The Conservation of Mass*)
2. Hukum Kedua Newton (*Newton's Second Law of Motion*)
3. Hukum Kekekalan Energi

Pada dasarnya desain kerja pada CFD yaitu dengan mendeskripsikan model yang akan dianalisa, sifat-sifat fluida disekitar model, dan penentuan kondisi batas. Secara umum proses simulasi dengan menggunakan CFD dapat dibagi menjadi tiga macam, yaitu :

1. *Pre Processor*
2. *Solver Manager (flow solution)*
3. *Post processor (Analyse and Visualise)*

### II.7.2. Pre processor

Tahap ini adalah tahap awal pemograman yang terdiri dari input kondisi dan model melalui *interface* kemudian mengubahnya menjadi bentuk yang sesuai dengan format yang dikehendaki oleh bagian *software* meliputi:

1. Membentuk geometri benda dan daerah sekeliling benda sebagai domain komputasi.
2. Membentuk *Grid Generation* atau membagi domain yang telah ditentukan menjadi bagian yang lebih kecil (*subdomain*).
3. Penentuan sifat-sifat dari model.
4. Penentuan sifat-sifat fluida (*boundary condition*), seperti pendefinisian harga densitas, kekentalan, suhu fluida, dan lain-lain.
5. Penentuan kondisi batas model geometri, lokasi pembuatan kondisi batas yang ditentukan baik pada daerah disekeliling benda maupun pada aliran yang diperhitungkan.
6. Penentuan besar kecilnya atau kekasaran grid (*mesh*)

Analisis masalah aliran yang berupa kecepatan, tekanan, atau temperatur didefinisikan sebagai suatu daerah yang berupa simpul-simpul tiap cell. Jumlah cell dalam grid (mesh)

menentukan akurasi penyelesaian software. Pada umumnya semakin banyak cell semakin bagus akurasi penyelesaiannya. Namun hal ini tidak selamanya berlaku, pada skala tertentu penambahan cell tidak mempengaruhi hasil dari analisa. Untuk itu pengguna software dituntut untuk menentukan jumlah cell atau elemen yang optimum. Daerah yang memiliki perubahan bentuk yang sangat tajam biasanya proses meshing dilakukan dengan sangat halus, sedangkan untuk daerah datar biasanya dilakukan meshing agak besar. (CFX, 2014)

### **II.7.3. Processor (solver)**

*Solver* dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu *finite difference*, *finite element*, dan *finite volume*. Secara umum metode numerik *solver* tersebut terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut:

1. Perkiraan variabel yang tidak diketahui dengan menggunakan fungsi sederhana.
2. Diskretisasi dengan substitusi perkiraan-perkiraan tersebut dengan persamaan aliran yang berlaku dan dilanjutkan dengan manipulasi matematika.
3. Penyelesaian dari persamaan aljabar metode *finite volume* adalah pengembangan khusus dari formula *finite difference*. *Finite volume* digunakan pada berbagai code CFD komersil seperti : *PHOENICS*, *CFX*, *FLUENT*, *NUMERIKA*, *FLOW3D*, dan *STARCD*

Pada tahap ini *input* dari *bounadry condition* sangat diperlukan guna menterjemahkan elemen-elemen beserta kondisinya agar dapat dimengerti oleh *software* sehingga perhitungan dapat dilaksanakan. Macam boundary condition terdiri dari terjemahan fluida, kapal, *wall inlet* dan *outlet*.

### **II.7.4. Post Processor**

Pada tahap ini akan ditampilkan hasil perhitungan yang telah dilakukan pada *processor (solver)*. Hasil perhitungan dapat dilihat berupa data numerik dan data visual aliran fluida pada model. *Post processor* digunakan untuk menganalisis, visualisasi, dan mempresentasikan hasil interaktif sesuai dengan kasus yang sedang ditinjau. Data numerik yang diambil adalah data nilai variabel sifat fluida. Secara umum hal-hal yang terdapat pada langkah ini adalah perhitungan besar hambatan kapal, perhitungan distribusi kecepatan disekitar badan kapal, perhitungan distribusi tekanan disekitar badan kapal.

Data numerik yang dapat ditampilkan oleh *post processor* adalah sebagai berikut:

- Data *export*
- *Quantitativ calculation*

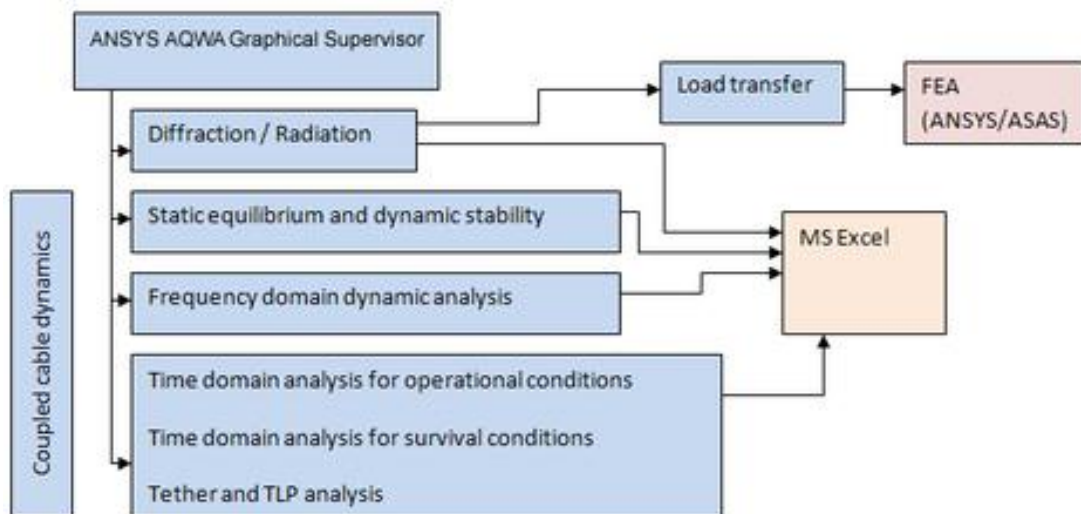
Data visualisasi model yang bisa ditampilkan oleh *post processor* adalah sebagai berikut:

- Gambar geometri model
- Gambar *surface* sifat fluida
- Animasi aliran fluida
- Tampilan *vector* kecepatan
- Gerakan *rotasi*, translasi, dan penyekalaan
- Arah aliran fluida
- *Hardcopy output*

## II.8. Ansys AQWA

*Ansys-AQWA* memberikan fasilitas terintegrasi untuk mengembangkan parameter hidrodinamika utama yang diperlukan untuk melakukan gerakan yang kompleks dan juga analisis respon. Pembuatan model dapat dilakukan dengan *Ansys-Design Modeler* yang terintegrasi dengan aplikasi *Ansys-AQWA*. Sebagai sistem terintegrasi untuk melakukan analisa hidrodinamik dan *mooring*. Secara fungsional *Ansys-AQWA* dapat dibagi menjadi enam operasi

1. Difraksi / radiasi
2. Stabilitas awal statis dan dinamis termasuk dampak sistem *mooring* dan koneksi fisik lainnya
3. Frekuensi domain analisis dinamis
4. Domain waktu dengan gelombang tidak teratur termasuk melayang lambat
5. *Non-linear* domain waktu dengan gelombang teratur atau tidak teratur amplitudo besar
6. Transfer beban hidrodinamik untuk analisis elemen hingga struktur



Gambar 2. 9 Visualisasi untuk sistem Ansys-AQWA  
Sumber: (Sholihin A. R., 2015)

Selain fasilitas opsional untuk konfigurasi kabel *mooring* tersedia juga analisis statis dan dinamis (baik dalam frekuensi dan waktu domain) untuk memberikan pemodelan yang lebih bagus dari respon sistem kapal dan *mooring*, terutama di perairan dalam.

Untuk bentuk lambung kapal besar *Ansys-AQWA* membutuhkan deskripsi bentuk lambung. Sebuah panel diskritisasi standar lambung digunakan dalam tahap radiasi / difraksi simulasi (dan mungkin juga dapat digunakan dalam pemecah berikutnya, seperti solusi domain waktu statis dan dinamis).

Untuk bentuk kapal yang lebih umum *Ansys Design Modeler* dapat digunakan baik untuk menghasilkan geometri secara langsung, atau mengimpor geometri dari berbagai sistem *cad* seperti *Autocad*, *Maxsurf*, *Catia* dll. Geometri ini kemudian dapat diimpor ke *Ansys-AQWA* untuk dilakukan analisis difraksi hidrodinamik. Output dari *Aqwa* bisa dijadikan input untuk pembebanan dalam penghitungan *Finite Elemen* pada aplikasi *Ansys Mechanical* maupun analisa *mooring* yang lebih intensif di *Orcaflex*.

Dengan berpedoman pada proses numerik *3D Diffraction*, *AQWA* mampu memprediksikan olah gerak bangunan laut tanpa dibatasi oleh kondisi bentuk dari model. Berbeda dengan *strip theory* yang memiliki pendekatan secara 2D, *3D Diffraction* melakukan perhitungan secara 3D berdasarkan permukaan surface dari model. (Sholihin A. R., 2015)

### II.8.1. Governing Equation

Pada penelitian ini analisis *seakeeping* dilakukan dengan menggunakan bantuan *software Ansys-AQWA*. Pemecahan masalah *seakeeping* dengan *Ansys-AQWA* dilakukan dengan teori difraksi radiasi 3-Dimensi berdasarkan persamaan gerak dengan 6 derajat kebebasan yang dapat dituliskan sebagai berikut (ANSYS, Inc., 2014):

$$[-\omega_w^2 (M_s + M_a) - i\omega_e C + K_{hys}][X_{jm}] = [F_{jm}] \quad (2.40)$$

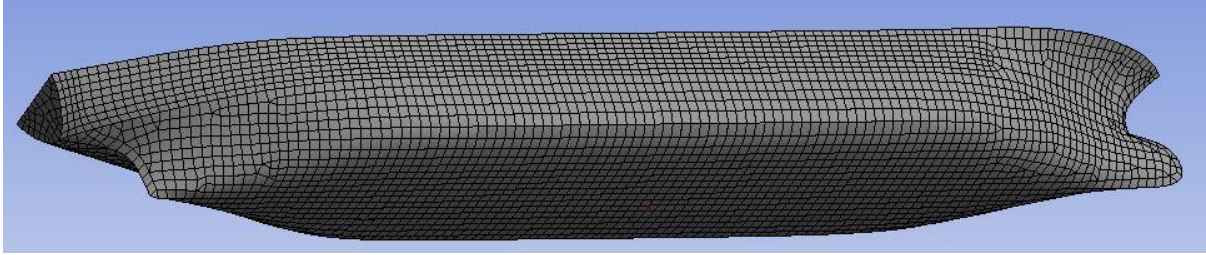
Dimana:

- $\omega_w$  = frekuensi gelombang
- $M_s$  = *Matriks* 6x6 dari massa struktur
- $M_a$  = *Matriks* 6x6 dari massa tambahan
- $\omega_e$  = frekuensi *encountering*
- $C$  = koefisien *damping*
- $K_{hys}$  = *restoring force motions*
- $F_{jm}$  = *exciting force*



### II.8.2. 3D Diffraction Theory

Metode ini digunakan untuk menganalisa gerakan struktur dengan bentuk sembarang, baik terapung bebas maupun dengan *mooring system*. Permukaan struktur dibagi dalam N panel yang cukup kecil sehingga diasumsikan gaya-gaya hidrodinamis yang bekerja adalah sama di tiap panel, seperti ditunjukkan pada gambar.



Gambar 2. 10 Lambung kapal dibagi menjadi beberapa panel  
Sumber: (Sholihin A. R., 2015)

Selanjutnya, sebuah persamaan dibentuk sehingga kecepatan potensial dapat diperoleh. Pada kondisi tenang, persamaan kecepatan potensial total  $\Phi$  akibat pengaruh kecepatan  $U$  adalah sebagai berikut.

$$\Phi(x, y, z; t) = [-U_x + \phi_S(x, y, z)] + \phi_T(x, y, z)e^{-i\omega_e t} \quad (2.41)$$

Di mana  $x$ ,  $y$  dan  $z$  menyatakan arah (sistem koordinat). *Wave exciting force* yang bekerja pada tiap panel dihitung dengan formula berikut:

$$F_{kj} = \rho \int_{S_B} \left[ \omega_e^2 X_j (\phi_{jc} + i\phi_{js}) + i\omega_e U X_j \frac{\partial}{\partial j} (\phi_{jc} + i\phi_{js}) \right] n_k ds \quad (2.42)$$

Sehingga gerak struktur dapat dihitung dengan persamaan matriks berikut:

$$X_j^0 = F_k^0 \left[ \sum_{j=1}^6 -\omega_e^2 (M_{kj} + A_{kj}) - i\omega_e B_{kj} + C_{kj} \right]^{-1} \quad (2.43)$$

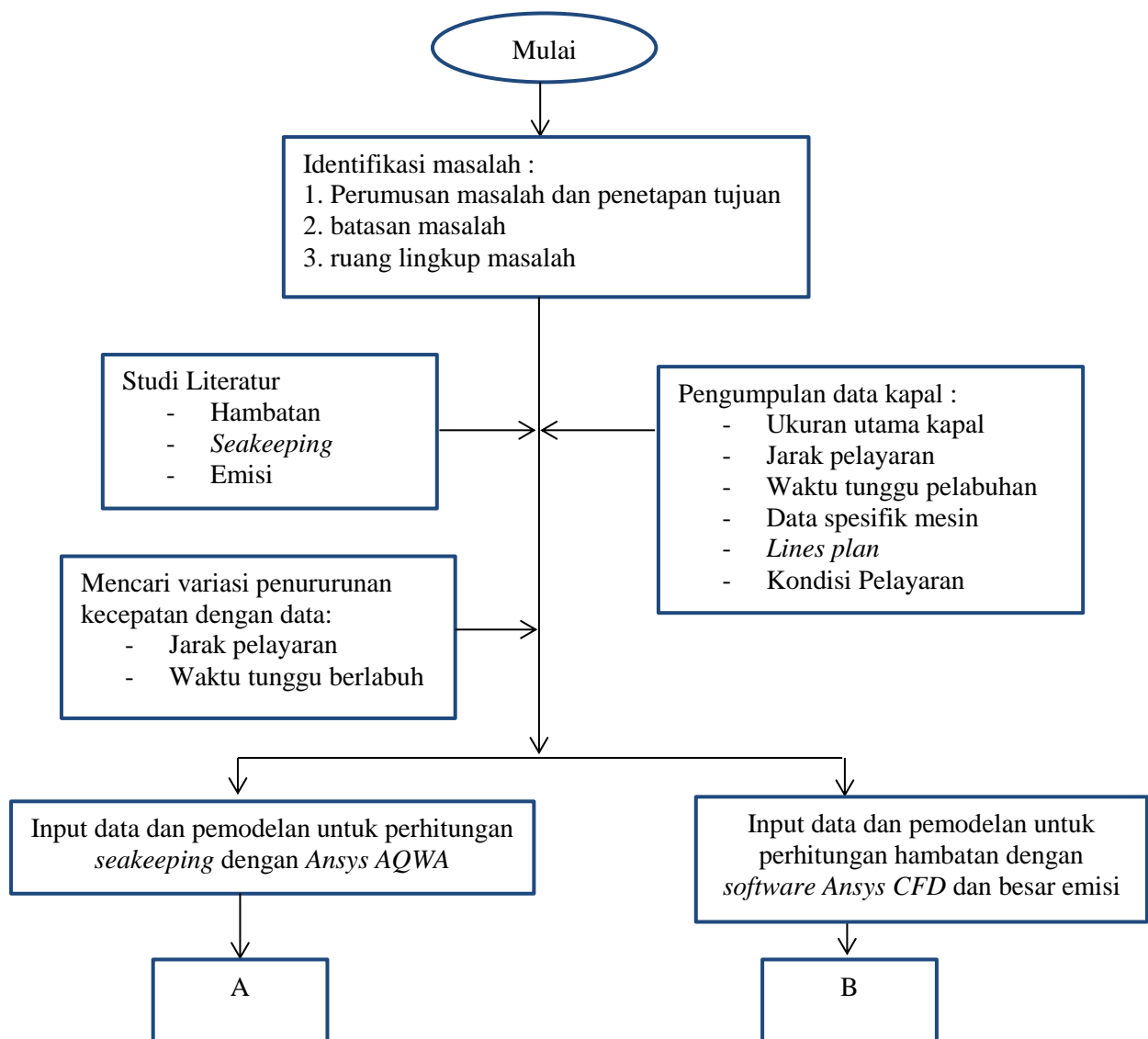
Dimana:

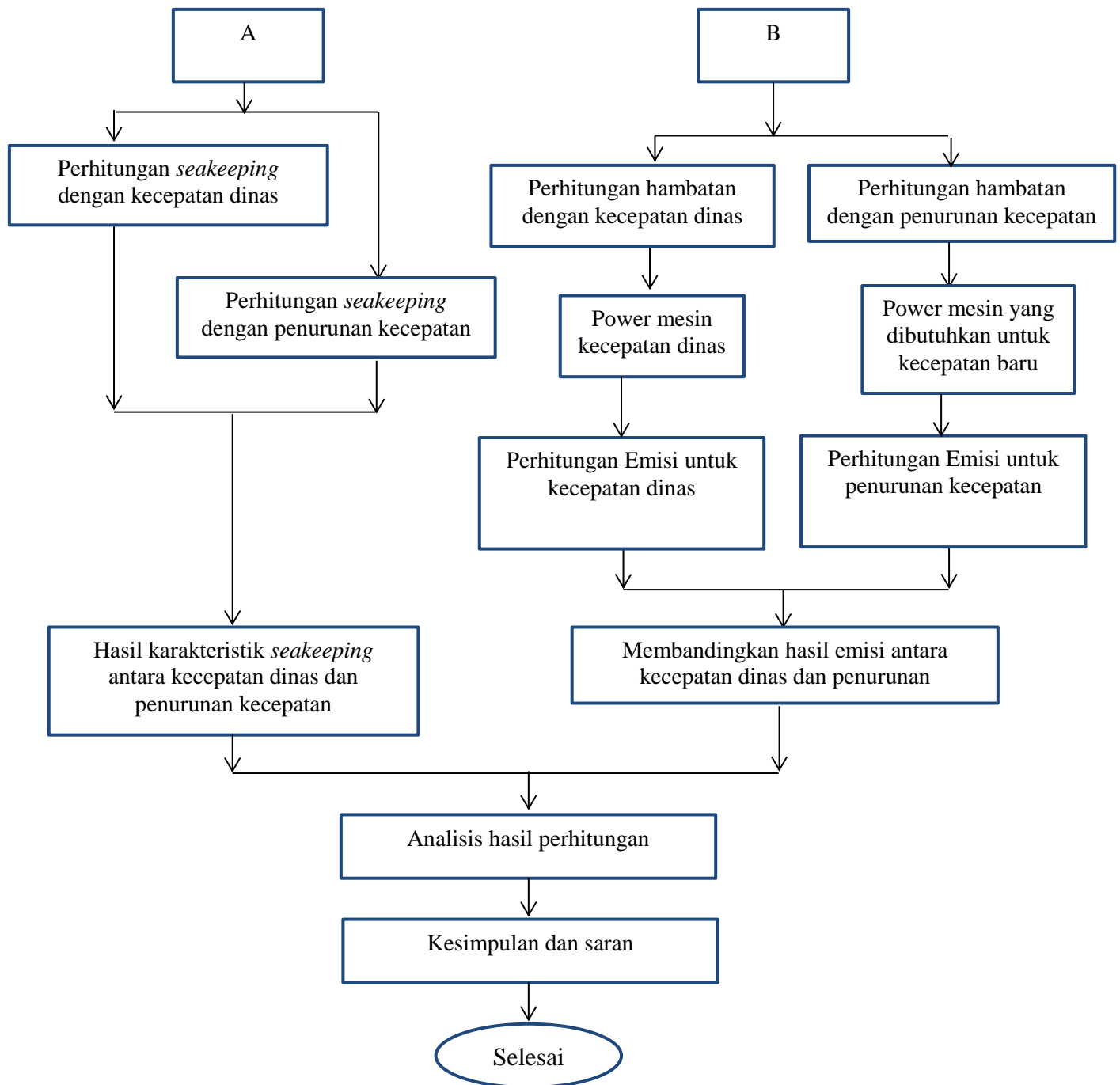
- $X_j$  : amplitudo gerakan struktur
- $M_{kj}$  : matriks inersia struktur
- $A_{kj}$  : matriks koefisien *added mass*
- $B_{kj}$  : matriks koefisien *damping*
- $C_{kj}$  : koefisien inersia statis
- $F_k$  : Amplitudo *wave exciting force*

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### III.1. Pendahuluan

Pada bab ini akan diuraikan langkah pengerjaan Tugas Akhir yang direncanakan oleh penulis beserta metode pengerjaannya. Metodologi penelitian Tugas Akhir ini mencakup seluruh proses kegiatan yang digunakan dalam proses analisis dan penyelesaian masalah pada Tugas Akhir. Metodologi penelitian dapat digambarkan pada diagram alir berikut ini.





Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

### III.2. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Sebelum melakukan penelitian terhadap suatu topik untuk Tugas Akhir ini, dilakukan terlebih dahulu identifikasi terhadap suatu topik yang dipilih. Untuk penelitian pada Tugas Akhir ini, dipilih topik analisis hambatan, *seakeeping* dan besar emisi yang dihasilkan oleh kapal *general cargo*. Setelah identifikasi dilakukan pada kapal tersebut, selanjutnya merumuskan masalah terhadap analisis yang akan dilakukan.

### III.3. Studi Literatur

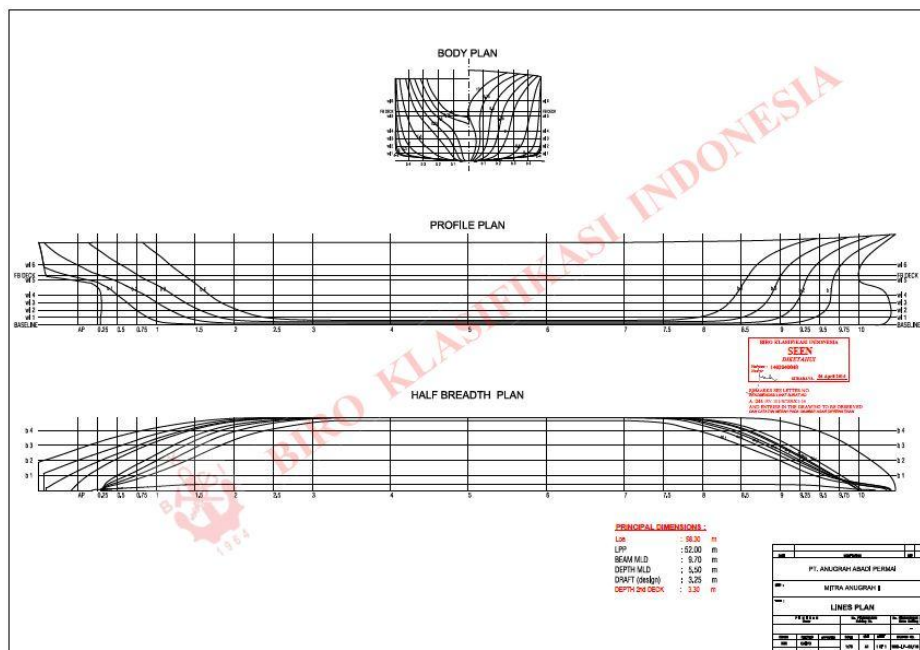
Pada tahap ini dilakukan pembelajaran dan pengumpulan teori-teori maupun kajian pustaka yang berkaitan dengan penganalisaan kapal *general cargo* meliputi model kapal, hambatan pada kapal, *seakeeping* pada kapal, perhitungan emisi (NO<sub>x</sub> dan CO<sub>2</sub>), *software* ANSYS CFD dan AQWA.

### III.4. Pengumpulan Data

Untuk pengerjaan tugas akhir ini, harus didapatkan data-data yang dibutuhkan, antara lain *principal dimensions*, *lines plan*, data jadwal labuh kapal, data spesifik mesin. Data-data tersebut dapat diperoleh dari galangan dan pelabuhan.

Tabel 3. 1 Ukuran utama kapal

MAIN DIMENSION	
LOA	58,3 m
LPP	53 m
B	9,7 m
H	5,5 m
T	3,25 m
Displasment	1247 m3
Vs	11,7 knot



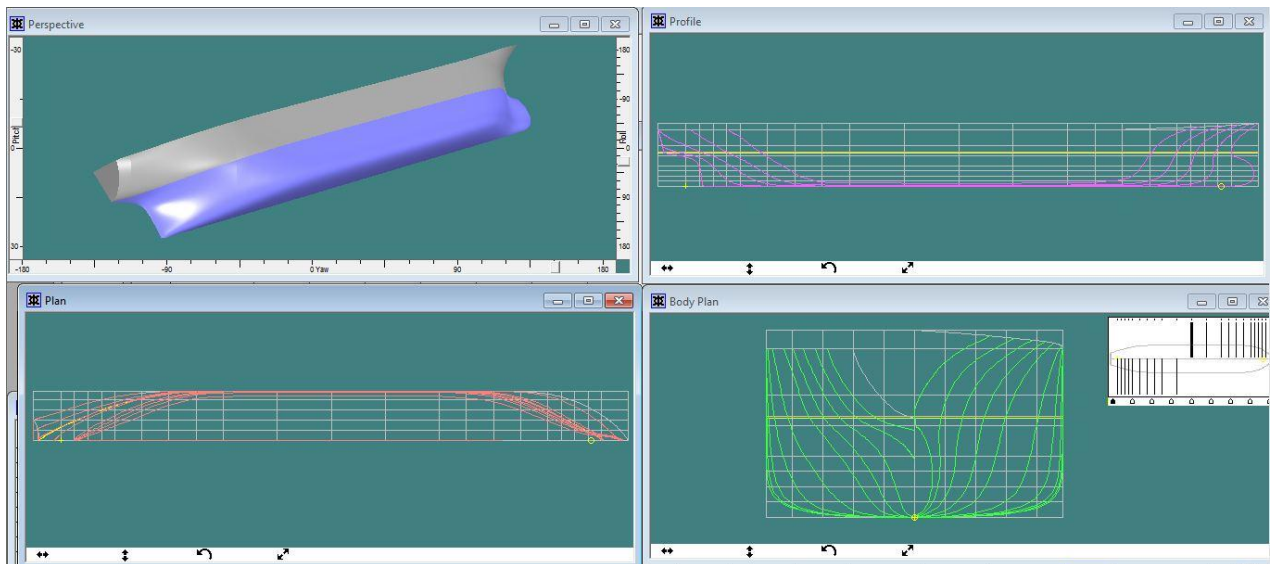
Gambar 3. 2 *Linesplan* kapal KM. MITRA ANUGERAH II

### III.5. Input Data & Permodelan

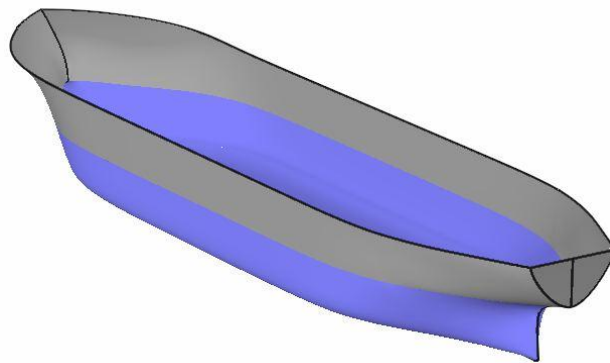
Sebelum dilakukan analisis dengan *software ANSYS* maka dilakukan pembuatan model dengan menggunakan data dari *linesplan* dan *principal dimension* pada *software Maxsurf Modeler*. Pada software ini dibuat model yang nantinya akan *diexport* ke *software ANSYS*. Sebelum digunakan pada *software ANSYS*, geometri model pada maxsurf (.msd) harus dikonversi terlebih dahulu ke format *ANSYS* (.igs), sehingga dapat dibaca oleh *ANSYS*. Selain itu model harus dirubah jenis surfacenya menjadi NURB. Berikut adalah data perbandingan antara data sesungguhnya dan model pada *software maxsurf* :

Tabel 3. 2 Perbandingan data dengan model

	Data	Maxsurf	Selisih
Displasment	1247	1241,386	<1%
Cb	0,713	0,714	<1%
Cwp	0,82	0,816	<1%
Lcb	26,485	26,878	<2%
Lcf	25,338	25,758	<2%
Kb	1,793	1,737	<1%



Gambar 3. 3 Pemodelan pada *software maxsurf*



Gambar 3. 4 Hasil model 3D pada *software maxsurf*

### III.6. Analisis

Analisis dilakukan terhadap model kapal yang telah dibuat sebelumnya. Analisis hambatan pada Tugas akhir ini dilakukan dengan bantuan software ANSYS-CFD, sedangkan untuk *seakeeping* dilakukan dengan bantuan *software* ANSYS-AQWA. Perhitungan emisi kapal *EEDI* dan *Nitrogen Oxida (NOx)* dengan ketentuan *International Maritime Organization (IMO)*. Tiga analisis ini dilakukan pada kecepatan dinas dan penurunan kecepatan.

### III.7. Analisis hambatan

Analisa yang dilakukan yaitu mencari hambatan total dan hambatan viskos. Kedua hambatan ini dapat diperoleh dari *software* *Ansys-CFD* dan *maxsurf resistance*. Kedua *Software* ini digunakan agar hasil yang didapat valid.

#### III.7.1. Tahapan CFD

Tahapan-tahapan yang digunakan dalam simulasi CFD:

##### 1. *Pre-Processor*

Pada tahap ini menggunakan *software* *Ansys CFX-PRE* yang terdapat pada *Ansys Workbench*. Tahap ini digunakan untuk menentukan kondisi lingkungan yang meliputi *Inlet*, *Outlet*, Interaksi lapisan batas, objek pengujian, kecepatan aliran fluida, temperatur, dan kondisi-kondisi lainnya yang nantinya akan berpengaruh terhadap proses simulasi.

##### 2. *Solver*

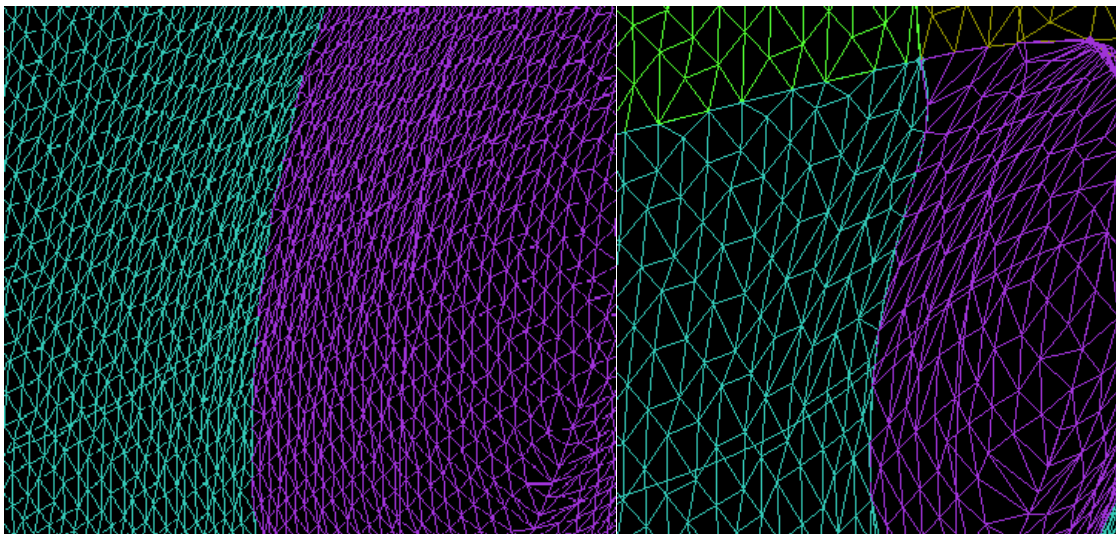
*Solver* merupakan tahap perhitungan atau “*running*” yang dilakukan pada *software* *CFD*. Dalam proses *solver* ini ditentukan batas konvergensi dengan besaran tertentu guna mencapai hasil yang diinginkan.

### 3. *Post-Processor*

Tahap ini adalah tahap akhir yang dilakukan. Pada tahap ini dapat diketahui hasil dari hambatan model kapal dan dapat menampilkan informasi berupa gambar dan animasi.

#### III.7.2. Pemilihan Jumlah Grid (*Meshing*)

Grid (*meshing*) merupakan kumpulan elemen yang bergabung menjadi suatu bentuk tertentu. Penentuan jumlah grid yang dipakai dalam pemodelan kapal mempengaruhi tingkat ketelitian dari model tersebut. Ukuran grid yang digunakan akan menentukan hasil yang akan diperoleh maka dari itu jumlah grid yang digunakan menjadi pertimbangan utama. Semakin kecil ukuran grid yang digunakan akan menyebabkan jumlah elemen semakin banyak dan membutuhkan waktu yang lama untuk melakukan simulasi. Penggunaan ukuran grid yang terlalu besar sangat berpengaruh terhadap tingkat akurasi data yang diperoleh. Pemilihan jumlah grid yang dipakai pada pemodelan kapal memakai *software Ansys-ICEM CFD*



Gambar 3. 5 Perbedaan ukuran *meshing* kecil (kiri) dan besar (kanan)

#### III.7.3. Pendefinisian Model

Pendefinisian dilakukan agar didapatkan data sesuai dengan kondisi sesungguhnya. Pendefinisian model dalam hal ini berupa pemberian kondisi batas dari model. Kondisi batas tersebut dapat berupa jenis fluida, kondisi aliran fluida, kekasaran model, kecepatan model, tekanan udara, dan lain-lain. Pendefinisian model dilakukan dengan menggunakan Ansys-CFX.

##### 1. Hambatan viskos

Evaluasi hambatan viskos menggunakan satu macam domain, dapat berupa air maupun udara. Pada kasus ini air dipilih sebagai domainnya. Kemudian karena bagian tengah yang

bergesek dengan air adalah bagian bawah sarat maka batas domain atas adalah sarat kapal. Ukuran domain yang digunakan adalah :

- Jarak sisi depan (*inlet*) terhadap model berkisar L
- Jarak samping (*wall*) ke sisi model berkisar 2B
- Jarak sisi belakang (*outlet*) terhadap model berkisar 4L
- Jarak sisi bawah (*bottom*) terhadap model menyesuaikan kedalaman

## 2. Evaluasi hambatan total

Simulasi hambatan total menggunakan dua media yaitu air dan udara. Dalam simulasinya terdapat efek *free surface*, yaitu fluida 1 memasuki area fluida lainnya. Efek ini biasa disebut sebagai gelombang kapal. Penerapan kondisi batas ini akan membuat proses analisa tidak hanya dilakukan pada badan kapal dibawah sarat tetapi juga pada badan kapal diatas sarat. Ukuran domain tidak berbeda jauh dengan domain yang digunakan pada simulasi hambatan viskos, hanya terdapat penambahan ketinggian domain udara. Ukuran domain yang digunakan adalah :

- Jarak sisi depan (*inlet*) terhadap model berkisar L
- Jarak samping (*wall*) ke sisi model berkisar 2B
- Jarak sisi belakang (*outlet*) terhadap model berkisar 4L
- Jarak sisi atas (*top*) terhadap model diambil 2H (Tinggi kapal). Jarak tersebut dianggap cukup karena kondisi dari *top* dianggap terbuka.
- Jarak sisi bawah (*bottom*) terhadap model menyesuaikan kedalaman. Pada simulasi kali ini digunakan 20.T (sarat). Jarak tersebut cukup agar gelombang yang dipantulkan oleh kapal ke dinding bawah tidak sampai kembali ke kapal.

### III.7.4. Pemilihan Turbulensi

Pemilihan metode turbulensi akan berpengaruh terhadap proses perhitungan yang akan dilakukan. Aliran turbulen digunakan karena aliran ini mampu mempresentasikan dengan baik fenomena fisik yang terjadi disekitar model jika dibandingkan dengan aliran laminar.

Terdapat tiga macam aliran turbulensi yang dapat digunakan pada proses perhitungan ini yaitu *k-epsilon*, *shear stress transport*, dan *laminar*. Pada proses ini dipilih metode turbulensi *shear stress transport* dengan basis pemodelan dua persamaan yang merupakan salah satu pendekatan data pemodelan turbulensi dengan metode RANS (*Reynold AVERAGE Navier Stokes*). Menurut beberapa peneliti, model turbulensi fluida menggunakan *shear stress transport* pada kondisi *isothermal* lebih memberikan akurasi yang lebih baik. Metode turbulen



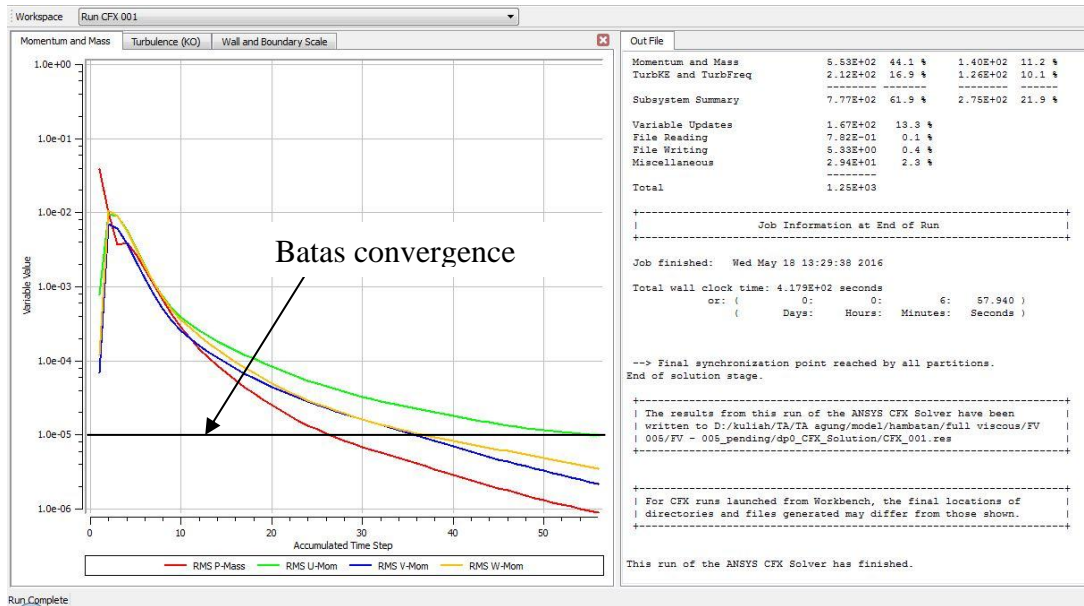
ini telah digunakan oleh Menter (1993a, 1994b) dan dinyatakan sebagai metode paling akurat untuk pemodelan berbagai aliran yang termasuk dalam NASA technical memorandum (Bardina dkk, 1997; Swennberg, 2000). Model turbulen ini memecahkan turbulensi berbasis (k- $\omega$ ) pada dinding-dinding dan turbulensi berbasis (k- $\epsilon$ ) pada aliran massal (Jamaluddin, Utama, & Molland, 2010)

### III.7.5. Validasi hasil

Pada proses ini digunakan untuk memastikan bahwa metode dan hasil yang diperoleh dari simulasi CFD dianggap benar dan valid. Sehingga data yang diperoleh dapat digunakan untuk tahapan selanjutnya. Terdapat dua proses dalam validasi yaitu :

#### 1. *Convergence*

Merupakan pengaturan persamaan *solver control* untuk meminimalisir *error* pada hasil simulasi. Proses perhitungan atau disebut sebagai proses iterasi pada tahap *flow solver*. Banyaknya proses iterasi yang dilakukan berpengaruh terhadap tingkat akurasi yang diperoleh. Penentuan banyaknya iterasi dipengaruhi oleh tingkat ketelitian dari model yang telah dibuat. Semakin banyak jumlah elemen yang digunakan dalam permodelan maka semakin banyak pula iterasi yang perlu dilakukan untuk perhitungan model tersebut. Proses iterasi akan berhenti jika telah mencapai batas *convergence* atau batas maksimum iterasi yang telah ditentukan sebelumnya. pada proses ini perhitungan dilakukan hingga menuju nilai error terkecil atau didapatkan nilai yang konvergen. *Convergence criteria* yang digunakan dalam proses iterasi menggunakan Ansys CFX adalah  $10^{-4}$  untuk simulasi free surface dan  $10^{-5}$  untuk simulasi full viscous (Gambar 3.6). Proses perhitungan atau running akan terus beriterasi agar keempat grafik persamaan mencapai garis konvergensi. (CFX, 2014)



Gambar 3. 6 Batas konvergensi pada Ansys-CFD

## 2. Grid Independence

Selain dengan menggunakan *Convergence* tahap validasi juga dapat menggunakan *Grid Independence*. Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa hasil yang ditampilkan oleh CFD sangat bergantung pada ukuran *meshing* dari model. Semakin kecil ukuran *meshing* maka jumlah elemen model yang terbentuk semakin banyak. Jumlah elemen yang besar akan memberikan hasil yang lebih mendekati nilai sebenarnya. Namun tidak selamanya jumlah elemen yang banyak akan menjamin optimalisasi simulasi.

Proses yang dilakukan adalah mencari titik optimal simulasi. Titik optimum pada CFD adalah posisi dimana nilai dari hasil yang akurat yang didapat pada jumlah elemen tertentu dan apabila jumlah elemen diperbanyak maka hasil yang diperoleh tidak akan jauh berbeda. Keuntungan pemilihan elemen yang optimum juga menjadi pertimbangan keterbatasan kemampuan komputer. *Grid Independence* mencapai posisi optimum apabila selisih perbedaan nilai hambatan antara suatu elemen dengan elemen sebelumnya kurang dari 2%. (Anderson, 1995)

## III.8. Analisa Seakeeping

Tahapan/*setting* dalam simulasi seakeeping dengan menggunakan *Ansis-AQWA* perlu untuk dilakukan. Sehingga hasil yang nantinya akan dicari dapat sesuai atau mendekati dari kondisi aslinya. Tahapan ini dibagi menjadi beberapa bagian seperti berikut.

### III.8.1. Pembuatan Model

Model untuk dilakukan analisa seakeeping dengan menggunakan *Ansys-AQWA* sama seperti yang digunakan untuk analisa hambatan dengan *Ansys-CFD*. Perlu diperhatikan *surface* model tersebut harus sudah menyatu, agar lebih mudah saat pengerjaan pada tahap model. Setelah model di-*export* dari *software Maxsurf* dengan format (.igs), model tersebut harus di-*import* pada *software* ini. Pada bagian model ini hal-hal yang harus di-*input* pada bagian ini adalah ketinggian sarat, titik berat kapal, *bouyancy*, dan lain-lain

### III.8.2. Meshing

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, *meshing* adalah gabungan elemen yang menunjukkan tingkat kekasaran model. Semakin kecil ukuran *meshing*, maka semakin banyak elemen yang dihasilkan dan semakin halus model tersebut. Berbeda dengan *CFX* dimana *meshing* dapat dibedakan perbagian kecil kapal, pada *software AQWA* *meshing* pada model tidak dapat dibagi.

Penentuan jumlah *meshing* yang optimum dapat di peroleh dengan membandingkan beberapa kali simulasi. Perbandingan yang digunakan adalah dengan perbandingan hasil luasan RAO dari dua total elemen yang berbeda. Jika selisih nilai luasan RAO berada dibawah 2% maka nilai tersebut dapat dikatakan optimum yang biasa disebut dengan grid independance. Maka nilai total elemen tersebut dapat dipakai sebagai acuan untuk proses simulasi selanjutnya.

### III.8.3. Setting

Berikut adalah bagian yang harus di-*setting* sebelum dilakukan simulasi:

1. *Analysis setting*. Bagian ini digunakan untuk memntukan bagaimana proses analisis yang akan dilakukan nantinya. Selain itu terdapat pula setting tipe tampilan dari hasil simulasi.
2. *Gravity dan Structure Selection*. Penentuan besarnya nilai gravity yang digunakan terdapat pada bagian ini. Nilai tersebut nantinya akan digunakan selama proses simulasi.
3. *Wave Direction dan Wave frequencies*

### III.8.4. Solution

1. Perhitungan RAO

Hasil pertama yang didapatkan dari analisis dengan software ini adalah nilai *Response Amplitude Operators* (RAOs). Nilai RAO ini digunakan untuk mengetahui karakteristik dari

gerakan kapal pada tiga derajat kebebasan (*Degree Of Freedom/DOF*). Analisis dilakukan pada *Ansys-Hydrodynamic Diffraction*.

## 2. Batasan kriteria

Setelah nilai RAO didapatkan, maka dilakukan perhitungan terhadap batasan kriteria pada *seakeeping*. Alasan ini dilakukan pada gelombang acak (*irregular wave*). Analisis dilakukan pada *Ansys-Hydrodynamic Time Response*. Perhitungan batasan kriteria yang akan dilakukan terdiri dari *rolling*, *pitching*, dan *heaving*. Batasan yang digunakan pada simulasi ini berpedoman pada *Guidelines for Marine Transportation* (GL Nobel Denton, 2010)

Tabel 3. 3 *Default motion criteria*

Nature of Transportation	Case	LOA (m)	B <sup>[1]</sup> (m)	L/B <sup>[1]</sup>	Block Coeff	Full cycle period (secs)	Single amplitude		Heave
							Roll	Pitch	
Unrestricted	1	> 140	and > 30	n/a	< 0.9	10	20°	10°	0.2 g
	2	> 76	and > 23	n/a	any	10	20°	12.5°	0.2 g
	3	≤ 76	or ≤ 23	≥ 2.5	< 0.9	10	30°	15°	0.2 g
	4				≥ 0.9		25°		
	5	≤ 76	or ≤ 23	< 2.5	< 0.9	10	30°	30°	0.2 g
	6				≥ 0.9		25°	25°	
Weather restricted operations in non-benign areas for a duration <24 hours (see Section 7.9.2 d. For L/B < 1.4 use unrestricted case.	7	any		≥ 2.5	any	10	10°	5°	0.1 g
	8	any		< 2.5, ≥ 1.4	any	10	10°	10°	0.1 g
Weather restricted operations in benign areas (see Section 7.9.2.e). For L/B < 1.4 use unrestricted case.	9	any		≥ 2.5	any	10	5°	2.5°	0.1 g
	10	any		< 2.5, ≥ 1.4	any	10	5°	5°	0.1 g
Inland and sheltered water transportations (see Section 7.9.2.f). For L/B < 1.4 use unrestricted case.	11	any		≥ 1.4	any	Static	Equivalent to 0.1 g in both directions		0.0
Independent leg jack-ups, ocean tow on own hull.	12	n/a	> 23	< 1.4	n/a	10	20°	20°	0.0
Independent leg jack-ups, 24-hour or location move.	13	n/a	> 23	< 1.4	n/a	10	10°	10°	0.0
Mat-type jack-ups, ocean tow on own hull.	14	n/a	> 23	< 1.4	n/a	13	16°	16°	0.0
Mat-type jack-ups, 24-hour or location move.	15	n/a	> 23	< 1.4	n/a	13	8°	8°	0.0

<sup>[1]</sup> B = maximum moulded waterline breadth, L = waterline length. n/a = not applicable

Block coefficient = 0.9 is the cut-off between barge-shaped hulls (>0.9) and ship-shaped hulls.

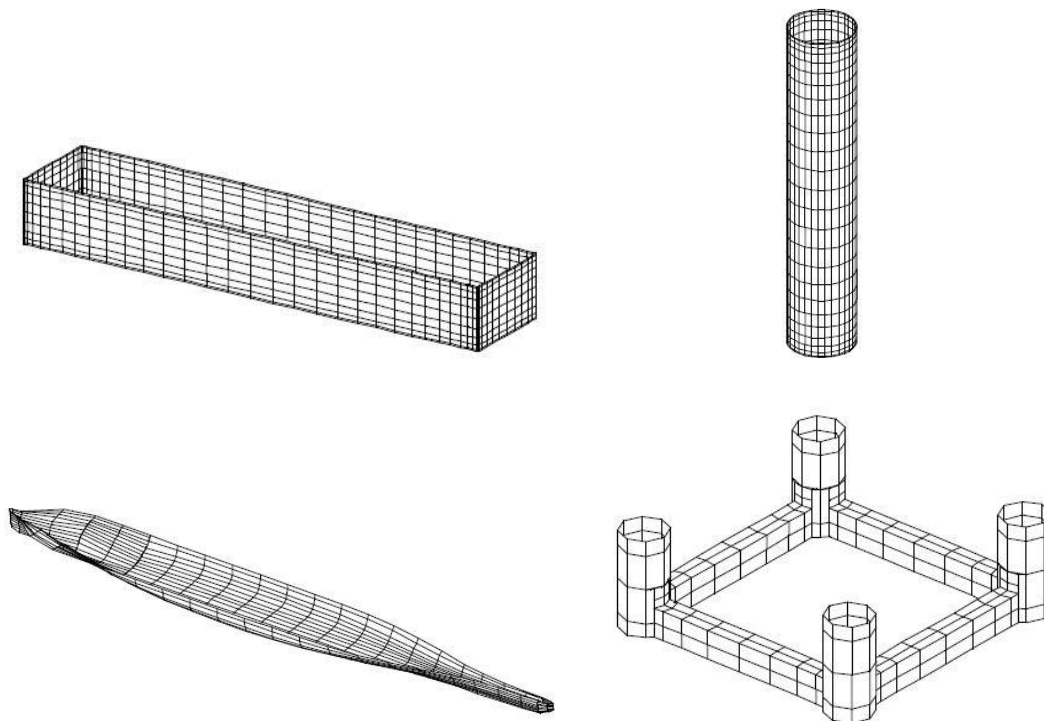
## III.8.5. Validasi model

Proses validasi dilakukan untuk mengetahui kebenaran data yang dihasilkan program *Ansys-AQWA*. Metode validasi yang digunakan yaitu dengan membandingkan data penelitian yang sudah pernah dilakukan dengan data hasil program *Ansys-AQWA* dengan model dan parameter yang sama. Proses validasi ini mengacu referensi dari *WAMIT-MOSES Hydrodynamic Analysis Comparison Study*. Di dalam paper tersebut perbandingan analisis

dapat menggunakan beberapa model antara lain *box*, *cylinder*, general ship, TLP, dan *semi-submersible*. (McDermott, 2000)

Tabel 3. 4 Ukuran model WAMIT

TYPE	Length (meter)	Beam or Diameter (meter)	Draft (meter)	Displacement (Metric-Tons)	Center of Gravity (KG)	Number of Panels
Box	200.0	40.0	28.0	229,645.0	28.0	1264
Cylinder	200.0	40.0	200.0	256,011.0	200.0	1120
Ship	275.4	27.7	9.6	43,698.0	13.9	430
TLP	51.6	51.6	35.0	52,761.0	35.0	512
MOB	260.0	138.0	39.0	328,894.0	26.9	1120



Gambar 3. 7 Bentuk model WAMIT

### III.9. Perhitungan Besar Emisi Gas Buang

Perhitungan yang dilakukan untuk mengetahui besar emisi berdasarkan kecepatan kapal yaitu *Nitrogen Oxida (NO<sub>x</sub>)* dan *EEDI (CO<sub>2</sub>)*. *Sulfur Oxida (SO<sub>x</sub>)* tidak diperhitungkan dikarenakan tidak ada berkaitan dengan kecepatan kapal atau putaran mesin. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan rumus empiris yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. setelah didapatkan hasil nilai dari NO<sub>x</sub> dan CO<sub>2</sub>, maka selanjutnya di bandingkan dengan batas yang diizinkan.

Setiap emisi yang dihasilkan tersebut terdapat faktor emisi yang digunakan untuk mendapatkan nilai dari emisi yang dihasilkan untuk masing-masing pembakaran. Selain itu disetiap kegiatan pelayaran biasanya terdapat perbedaan untuk konsumsi bahan bakar dan hasil emisi antara berlabuh dan berlayar (Trozzi & Vaccaro, 1998). Berikut adalah faktor emisi yang dihasilkan untuk bermacam-macam tipe engine.

Tabel 3. 5 Faktor Emisi (Kg/Ton bahan bakar)

Type Engine	Nox	CO	VOC	CO2	PM	Sox
Steam Turbine-resi dual oil	6,98	0,431	0,085	3200	2,5	54
Steam Turbine-distillate oil	6,25	0,6	0,5	3200	2,08	10
High Speed Diesel Engine	60	2,8	1	3200	0,52	10
Medium Speed Diesel Engine	57	7,4	2,4	3200	1,2	10
Slow Speed Diesel Engine	87	7,4	2,4	3200	7,6	54
Gas Turbine	18	0,8	0,3	3200	0,01	10

### III.10. Analisis dan Pembahasan

Pada tahap ini dilakukan analisis data hasil dari simulasi hambatan, *seakeeping*, dan perhitungan emisi gas buang kapal.

### III.11. Kesimpulan dan saran

Langkah terakhir dari pengerjaan tugas akhir ini adalah pengambilan kesimpulan dan saran. Kesimpulan diambil dari hasil analisa dan perhitungan yang dilakukan dari tahap awal hingga akhir. Kesimpulan yang diambil adalah besar kecepatan yang paling optimal serta efek nya terhadap hambatan, *seakeeping*, dan emisi, sehingga dapat meminimalkan waktu tunggu dipelabuhan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## **BAB IV**

### **PEMBUATAN MODEL DAN SIMULASI**

#### **IV.1. Pendahuluan**

Pada bab ini akan dijelaskan proses pembuatan model kapal kargo, simulasi dengan *software CFD*, proses validasi hasil simulasi, dan perhitungan emisi gas buang kapal. Dengan menggunakan *software Ansys* yang telah dijelaskan sebelumnya, besar hambatan dan karakteristik *seakeeping* akan diketahui. Prosedur dan tahapan pada perhitungan maupun simulasi akan dijelaskan lebih detail pada bab ini.

#### **IV.2. Penentuan Kecepatan Kapal**

Sesuai dengan data mesin kapal, kecepatan kapal yang digunakan berdasarkan persentase beban mesin yang diterima yaitu 100%, 90%, dan 75%. Sehingga kecepatan yang digunakan yaitu berturut-turut 11,7 knot, 11,36 knot, dan 10,78 knot. Ketiga kecepatan tersebut pada kondisi *Service Continous Rating* (SCR). Selain kondisi SCR, kerja mesin harus menggunakan kondisi MCR (*Maximum Continous Rating*). Kondisi MCR tidak boleh digunakan 100% dalam suatu pelayaran, begitu juga dengan kondisi SCR. Sehingga kedua kondisi tersebut harus digunakan bergantian.

Sesuai dengan *Parametric Design* (PD) chapter 11, *Maximum Contious Rating* hanya boleh dioperasikan 5-10% dari total jarak pelayaran. Sehingga sisa beban pelayaran menggunakan SCR (Parsons, 2004). Variasi MCR pada perhitungan kali ini menggunakan MRC 5% dan MCR 10%. Sehingga terdapat 6 macam variasi kecepatan terhadap engine margin.

Mesin tipe Medium Speed kondisi MCR dapat dioperasikan maksimal 1 jam dari 12 jam pelayaran. Kondisi ini juga perlu diperhatikan dalam penerapan lama waktu kondisi MCR dan SCR. (Woodyard, 2004)



Gambar 4. 1 Spesifikasi mesin

Nama mesin		Niigata
Type		Medium Speed 6MG28HX
Clynder		6
Bhp		1600
RPM		750
Cly bore (mm)		280
Piston stroke (mm)		370
Max Continuous Rating	Kw	1368
	Ps	1860
Dry mass (t)		16

Kecepatan yang digunakan ini nantinya akan berpengaruh terhadap lama waktu tunggu di pelabuhan. Sesuai dengan kondisi dilapangan, waktu tunggu rata-rata untuk K.M. MITRA ANUGERAH II pada pelabuhan tanjung perak sebesar 3,1 jam dalam beberapa kali bongkar muat, seperti dijelaskan pada Lampiran A.

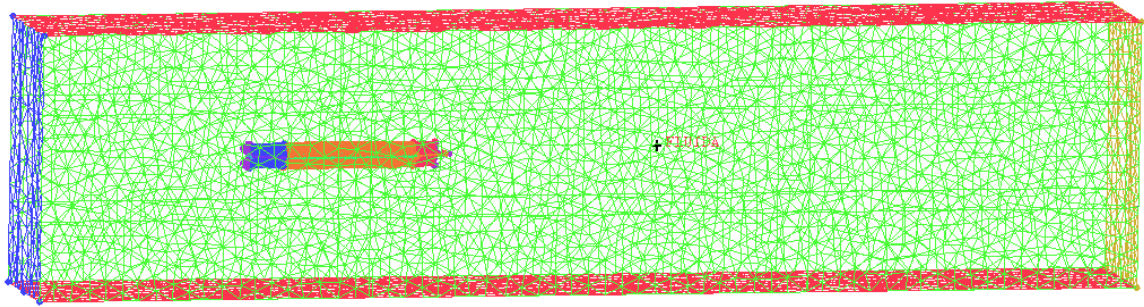
### IV.3. Pemodelan Kapal Pada CFD

#### IV.3.1. Pembuatan model uji

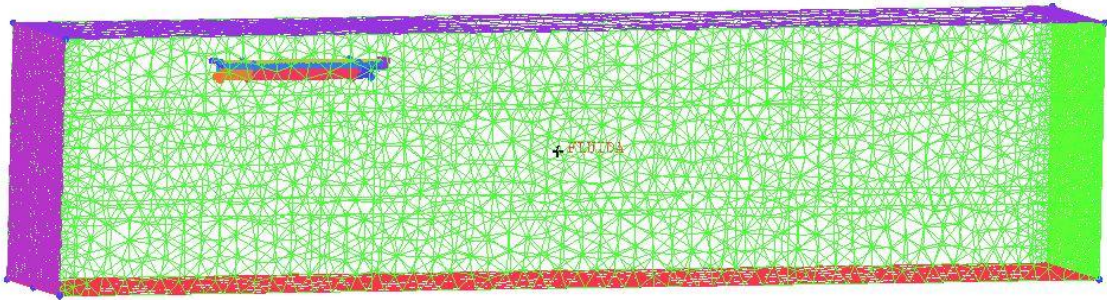
Setelah pada bab sebelumnya telah dijelaskan pembuatan model kapal dengan menggunakan *software Maxsurf*. Pemodelan selanjutnya adalah dengan pembuatan batas kondisi domain baik untuk model *free surface* atau *full viscous*. Model kapal yang telah dibuat di *software maxsurf* akan di-export dengan format file .igs agar dapat dibaca pada *software Ansys-ICEM CFD*. Kemudian pada *ICEM CDF* file tersebut diimport untuk kemudian dilakukan pembuatan domain komputasi seperti *inlet*, *outlet*, *wall*, *top*, dan *bottom*. Untuk setiap domain tersebut harus diberi surface dan membentuk balok yang mengelilingi model kapal.

#### IV.3.2. Meshing

Setelah model 3D kapal dan domain dibuat, tahap selanjutnya yaitu adalah proses *meshing* dengan menggunakan software yang sama dengan pembuatan model uji. Proses *meshing* adalah proses dimana pembuatan tingkat kekasaran pada model maupun domain. Cara *meshing* adalah dengan membagi geometri/surface model kedalam elemen-elemen kecil (segitiga, tetra/mixed, hexa-dominant) yang disebut *cell*. Gabungan dari cell tersebut akan menyatu dan membentuk pola seperti jala.



Gambar 4. 2 Hasil *meshing* simulasi *full viscous*



Gambar 4. 3 Hasil *meshing* simulasi *free surface*

#### IV.4. Simulasi CFD

Simulasi ini dilakukan dengan menggunakan *software CFX* terdiri dari dua simulasi yaitu pengujian *full viscous* yang bertujuan untuk mendapatkan *drag force* pada setiap kecepatan. Sedangkan simulasi *free surface* dilakukan untuk mengetahui hambatan total. Tahap pengujian dilakukan dengan tiga tahapan, yaitu *pre-processor*, *processor/solver*, dan tahap *post-processor*.

##### IV.4.1. *Pre-processor full viscous*

Pengujian *full viscous* dilakukan dengan menggunakan model kapal yang sama dari *software Maxsurf* hanya saja model tersebut besarnya hanya sampai sarat. Karena pada pengujian ini tidak ada udara maka kapal dikondisikan tertutup seluruhnya, hanya saja penutup kapal ini adalah lambung itu sendiri seperti pada Gambar 4.2. Dengan kondisi seperti itu maka besar hambatan pada kapal tersebut akan dibagi dua dikarenakan terdapat dua lambung pada satu model tersebut. (CFX, 2014)

##### 1. Kondisi Domain.

Domain dapat didefinisikan sebagai tempat atau media dimana model uji bergerak. Dalam hal ini media gerak kapal adalah air dengan density 1,025 kg/m<sup>3</sup> disesuaikan dengan keadaan keadaannya aslinya. Digunakan model aliran turbulen *k-epsilon* pada simulasi ini menggunakan satu jenis fluida yaitu air.

## 2. Kondisi *Inlet*

Pada bagian sisi ini adalah tempat dimana aliran fluida masuk. Pada sisi ini diberikan kecepatan dari aliran fluida yaitu sama dengan kecepatan kapal. Karena pada simulasi ini fluida diasumsikan sebagai elemen yang bergerak sedangkan kapal diasumsikan diam.

## 3. Kondisi *Outlet*

*Outlet* adalah bidang sisi keluarnya fluida. Pada daerah ini dilakukan pengaturan berupa “*Normal Speed*”. Hal tersebut dilakukan agar kecepatan aliran air saat masuk sama dengan kecepatan aliran air keluar.

## 4. Kondisi Batas *Wall (Side)*

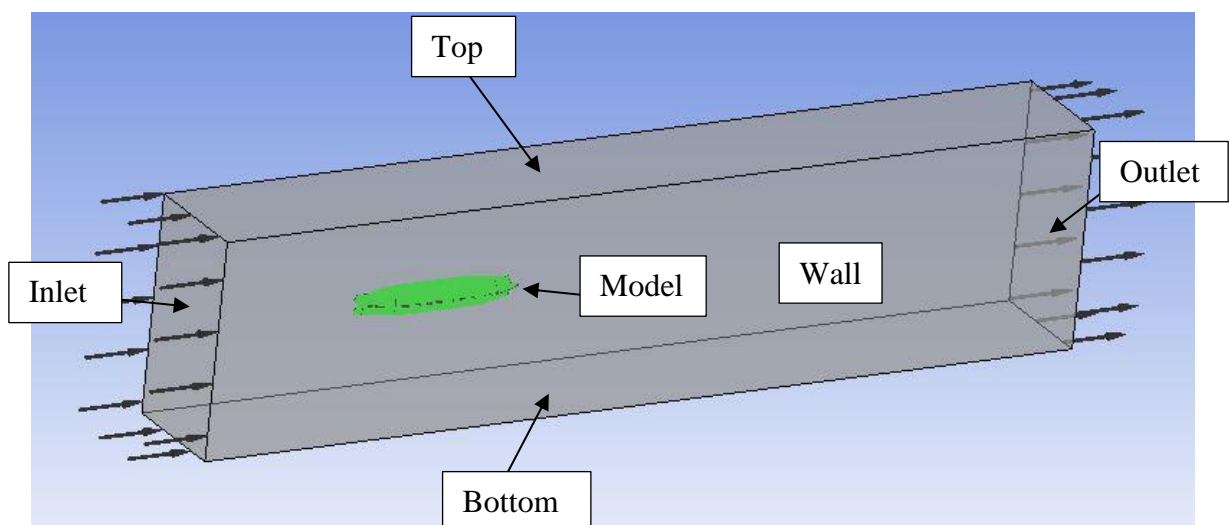
Dinding fluida dianggap berada pada kondisi tanpa gesekan sehingga *boundary* diisi *free slip wall*.

## 5. Kondisi Batas *Bottom* dan *top*

*Bottom* dan *top* batas fluida berada pada kondisi *no slip*, sehingga kekasaran dasar akan berpengaruh.

## 6. Kondisi Batas Model kapal

Berbeda dengan keadaan yang diterapkan pada area dinding-dinding fluida. Permukaan kapal akan mengalami gesekan dengan fluida. Kekasaran pada model kapal akan berpengaruh terhadap kecepatan fluida. Sehingga kondisi batas model diisi *no slip*.



Gambar 4. 4 Kondisi batas simulasi *full viscous*

#### IV.4.2.Pre-processor Free Surface

Simulasi selanjutnya yaitu *free surface*, dimana simulasi ini menggunakan dua macam fluida baik air maupun udara. Simulasi ini memiliki tingkat sensitifitas yang tinggi terhadap pengaturan boundary condition jika dibandingkan dengan simulasi *full viscous*. Kesalahan dalam penentuan kondisi batas dapat membuat nilai hasil simulasi tidak sesuai. Tahapan-tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut. (CFX, 2014)

##### 1. Pendefinisian CFX Expression Language (CEL)

CEL digunakan agar mempermudah pemanggilan atau *recall* pada saat pengaturan simulasi pada tahap *pre-processor*. Hal ini dikarenakan kondisi domain dengan dua fluida lebih kompleks dan rumit dari pada simulasi satu fluida. CEL ini menggambarkan fungsi atau persamaan yang digunakan pada boundary maupun fluida. Ekspresi-ekspresi untuk *boundary* dan *initial condition* yang didefinisikan pada CEL dapat dilihat pada tabel dibawah:

Tabel 4. 1 Pendefinisian CFX Expression Language (CEL)

Nama Bagian	CEL	Definisi
tinggi hulu <i>free surface</i>	UpH	68.25 [m]
tinggi hilir <i>free surface</i>	DownH	68.25 [m]
densitas air	DenWater	1025 [kg m <sup>-3</sup> ]
densitas udara	DenRef	1.185 [kg m <sup>-3</sup> ]
densitas air–densitas udara	DenH	(DenWater - DenRef)
fraksi volume udara (hulu)	UpVFAir	step((y-UpH)/1[m])
fraksi volume air (hulu)	UpVFWater	1-UpVFAir
distribusi tekanan hulu	UpPres	DenH*g*UpVFWater*(UpH-y)
fraksi volume udara (hilir)	DownVFAir	step((y-DownH)/1[m])
fraksi volume air (hilir)	DownVFWater	1-DownVFAir
distribusi tekanan hilir	DownPres	DenH*g*DownVFWater*(DownH-y)

##### 2. Kondisi Domain

Pada kondisi batas *inlet* atau bisa disebut dengan *inflow* memerlukan *setting* dan ekspresi. Fraksi volume di atas permukaan bebas adalah 1 untuk udara dan 0 untuk air, dan

untuk di bawah permukaan bebas adalah 0 untuk udara dan 1 untuk air. Kondisi batas *outlet* dimana tekanan diatas permukaan bebas adalah konstan dan tekanan di bawah permukaan bebas adalah distribusi hidrostatik.

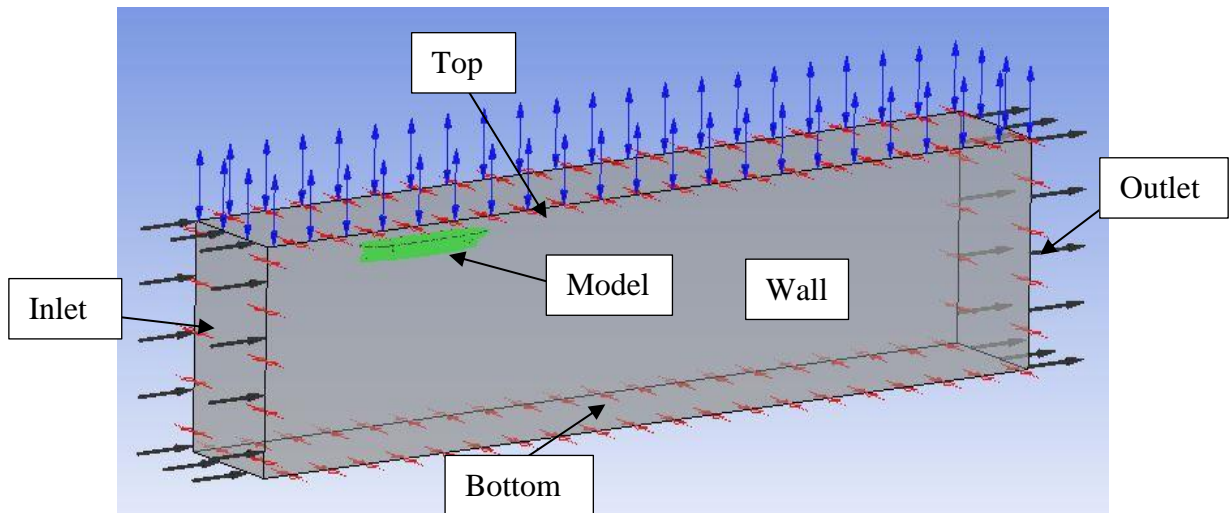
### 3. Pendefinisian domain

Langkah selanjutnya yang harus dilakukan adalah pendefinisian domain *fluida*. Pada bagian ini *fluida* dibagi menjadi dua jenis yaitu air dan udara dimana temperatur fluida di-setting 25° menyesuaikan kondisi towing tank dan tekanan di-setting sebesar 1atm. Pada tab *basic setting* terdapat opsi *Gravity X* dim sebesar 0 m/s, *Gravity Y* dim sebesar -g, dan *Gravity Z* dim sebesar 0 m/s. Untuk *Buoy. Ref. Density* diisi dengan "*DenRef*" sesuai dengan ekspresi-ekspresi CEL yang telah dijelaskan di atas. Untuk opsi-opsi lainnya dibiarkan dengan *setting default*. Pada tab "*Fluid Model*", kotak di sebelah pilihan "*Homogeneous Model*" dicentang dan pada opsi "*Free Surface Model*" di-setting mode "*Standard*", sedangkan untuk model turbulensi di-setting "*Shear Stress Transport*".

Untuk opsi-opsi lainnya dibiarkan dengan *setting default*. Pada tab "*Fluid Specific Model*", harus dipastikan bahwa fluida yang telah di-setting pada proses ini ada dua yaitu air dan udara. model turbulensi fluida menggunakan *shear stress transport* pada kondisi *isothermal* lebih memberikan akurasi yang lebih baik. Metode turbulen ini telah digunakan oleh Menter (1993a, 1994b) dan dinyatakan sebagai metode paling akurat untuk pemodelan berbagai aliran yang termasuk dalam diskusi NASA *Technical Memorandum* (Bardina dkk, 1997; Swennberg, 2000). Model ini pada awalnya banyak digunakan untuk bidang aeronatika tetapi dengan berkembangnya teknologi, model ini banyak digunakan pada berbagai model industri.

### 4. Definisi batas *boundary*

Langkah selanjutnya adalah pendefinisian batas (*boundary*) hampir sama seperti setting pada simulasi *full viscous*. Perbedaan terjadi pada batas atas (*top*) yaitu bagian dinding atas di setting sebagai opening atau terbuka artinya tidak ada pengaruh tekanan dari manapun. Pada batas inlet dan outlet diatur dengan kondisi "*normal speed*" pada kecepatan kapal. Hal ini dikarenakan agar kecepatan aliran masuk dan keluar sama. Dimana fluida dianggap bergerak dan kapal dianggap diam. Batas *wall* di-setting "*Symetri*" berarti tekanan kondisi di dalam domain dan diluar sama, gelombang tidak dipantulkan oleh dinding. Batas kondisi *bottom* sama dengan batas kondisi *wall* yaitu *free slip*. Model kapal di-setting *no slip* yang artinya terdapat tingkat kekasaran dimana fluida akan berpengaruh terhadap kondisi tersebut.



Gambar 4. 5 Kondisi batas simulasi *free surface*

#### 5. *Initialization*

Merupakan tahap pengaturan dimana kecepatan aliran fluida diatur. Fraksi udara diatur dengan mengisi “UpVFAir” dan fraksi air diisi dengan “UpVFWater”.

#### 6. *Mesh Adaption*

*Mesh adaption* berguna untuk memperhalus mesh awal. Mesh yang diperhalus membantu perkembangan interface yang tajam antara air dan udara (CFX, 2014). Pada bagian ini juga terdapat penetapan berapa maksimum iterasi yang diinginkan ketika akan melakukan *running* model. Iterasi adalah parameter atau batas yang mengontrol ketika *software* melakukan *running* hingga didapat hasil yang konvergen (Kusuma Rahadi, 2016)

#### 7. *Solver control*

Tahap ini digunakan untuk mengatur batas maksimum iterasi yang diinginkan. Setelah langkah ini, maka model akan dapat di *running* pada tahap *processor (solver)*.

### IV.4.3. Tahap *Processor (solver)*

Tahap *processor* atau yang dikenal dengan dengan proses *solver* merupakan tahap perhitungan atau *running* yang dilakukan setelah proses *pre processor*. Proses *running* ini digambarkan dengan sebuah grafik, dengan sumbu x menunjukkan *accumulated time step* sesuai dengan nilai iterasi yang kita masukkan dan sumbu y menunjukkan *variable value* (nilai konvergensi) dengan nilai 1 sampai  $10^{-6}$  yang ditentukan pada saat tahap *pre-processor* ditentukan batas *variable value* adalah  $10^{-5}$  untuk pengujian *full viscous* dan nilai konvergensi  $10^{-4}$  untuk pengujian *free surface*. (CFX, 2014)

Pada tahap running digunakan komputer dengan spesifikasi processor i5 yang di-*setting* 4 paralel untuk proses *running* dan untuk *runtime priority* di-*setting standard*. Jumlah elemen sangat berpengaruh terhadap waktu running model. Semakin besar jumlah elemen semakin lama waktu running yang dibutuhkan.

#### IV.4.4. Tahap *Post-Processor*

Pada tahap ini dapat dilihat hasil *running* pada tahap *solver*. Hasil yang dapat dilihat adalah besar hambatan, *contour* pada masing-masing domain, arah aliran fluida, dan lain-lain. Data-data yang ditampilkan dalam tahap ini dapat berupa hasil numerik, gambar, kurva, dan animasi.

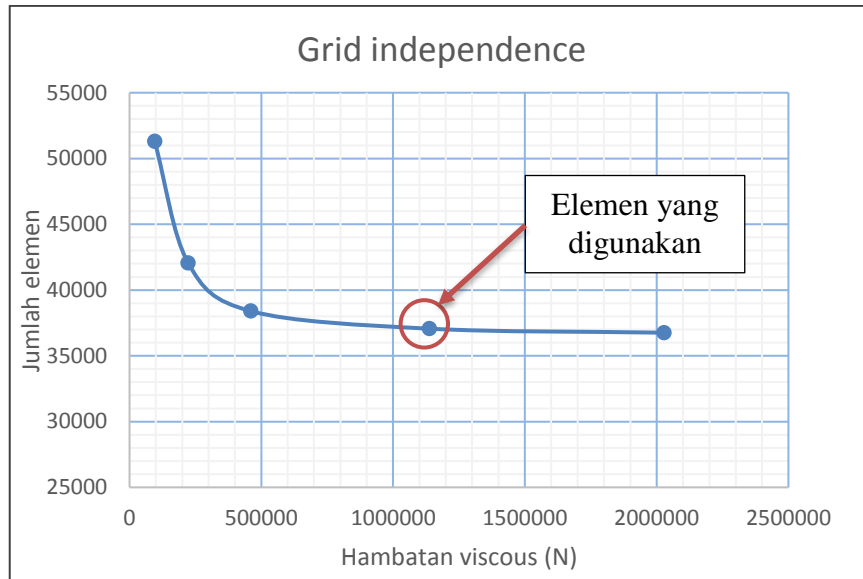
#### IV.4.5. Validasi *Grid Independence*

Seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya *grid independence* diperoleh dengan melakukan beberapa kali simulasi. Dengan menggunakan perbandingan jumlah elemen dan besar hambatan dari hasil simulasi sebelumnya dan simulasi selanjutnya yang jumlah elemen dua kali lebih banyak jika selisih nilai hambatan dibawah 2% maka nilai tersebut dapat dikatakan mencapai *grid independence*. (Anderson, 1995)

*Grid independence* dilakukan pada model uji full viscous dengan kecepatan 11.7 knot. Hasil perubahan jumlah elemen terhadap besar nilai hambatan adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 2 *Grid independence* hambatan viskos

Grid Independence hambatan viskos		
Total elemen	Hambatan (N)	Selisih
95248	51313	
222583	42055,65	18,0409%
459723	38401,95	8,6878%
1137480	37063,7	3,4848%
2028664	36757,2	0,8270%



Gambar 4. 6 *Grid independence* hambatan viskos

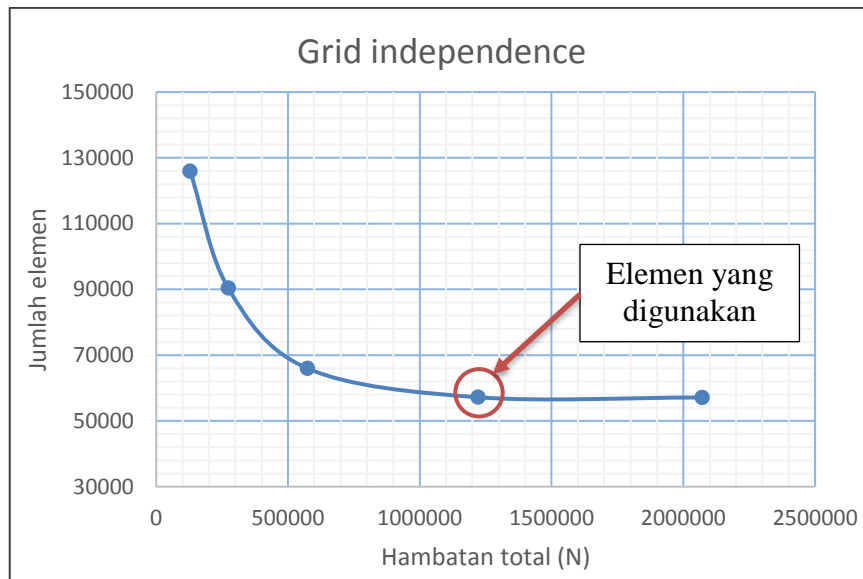
Tabel dan gambar diatas mempresentasikan hasil *grid independence* dimana akan menjadi landasan dalam pemilihan elemen atau grid yang selanjutnya akan digunakan sebagai acuan untuk simulasi CFD. Dari table dan gambar diatas dipilih elemen optimum dengan total 1137480 untuk dilakukan pengujian *full viscous* dengan kecepatan berbeda.

Tahap berikutnya adalah penentuan *grid indipendence* pada pengujian *free surface* dengan kecepatan 11.7 knot. Hasil perubahan jumlah elemen terhadap besar nilai hambatan adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Grid independence hambatan total

Grid independence hambatan total		
Total elemen	Hambatan (N)	Selisih
128780	125934	
273404	90398,5	28,2176%
573718	65981,1	27,0108%
1220705	57199,5	13,3093%
2071250	57124,1	0,1318%





Gambar 4. 7 *Grid independence* hambatan total

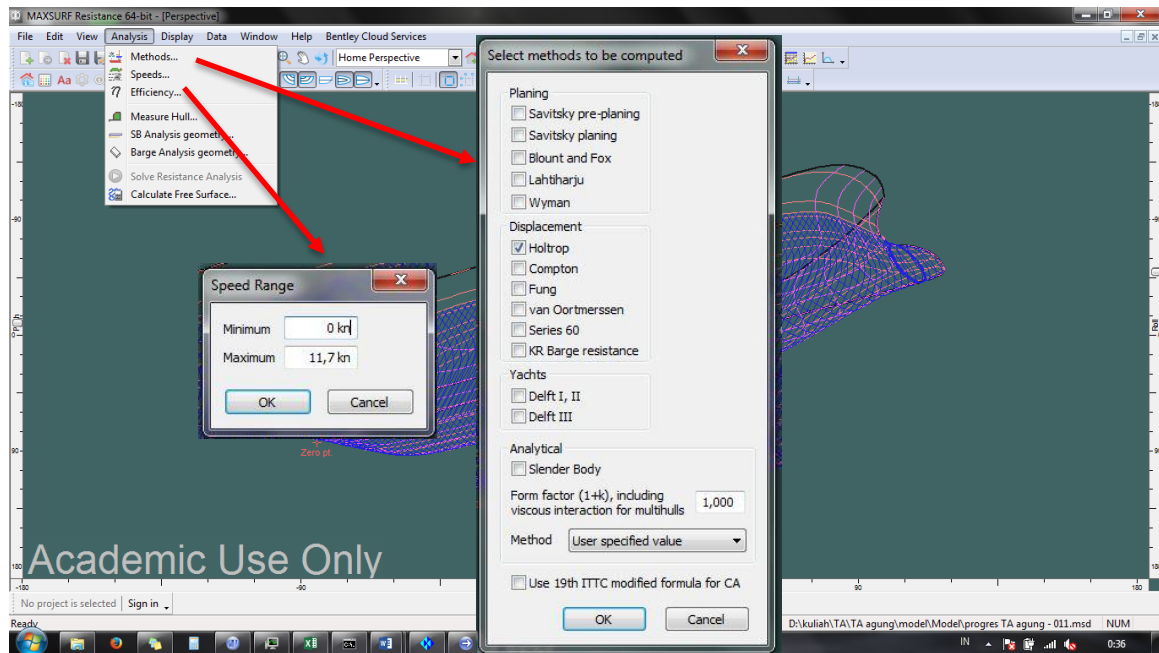
Tabel dan gambar diatas mempresentasikan hasil *grid independence* dimana akan menjadi landasan dalam pemilihan elemen atau grid yang selanjutnya akan digunakan sebagai acuan untuk simulasi CFD. Dari tabel dan gambar diatas dipilih elemen optimum dengan total 1220705 untuk dilakukan pengujian *free surface* dengan kecepatan berbeda.

#### IV.4.6. Perhitungan hambatan dengan *Software Maxsurf Resistance*

Selain software *Ansys-CFD*, *maxsurf* juga dapat digunakan untuk mencari nilai hambatan. Digunakannya software ini untuk membandingkan nilai hambatan hasil simulasi keduanya. Nilai hasil simulasi dari *software* tersebut dapat dikatakan benar jika nilai selisih dari keduanya kurang dari 20%. (Sutiyo, 2014)

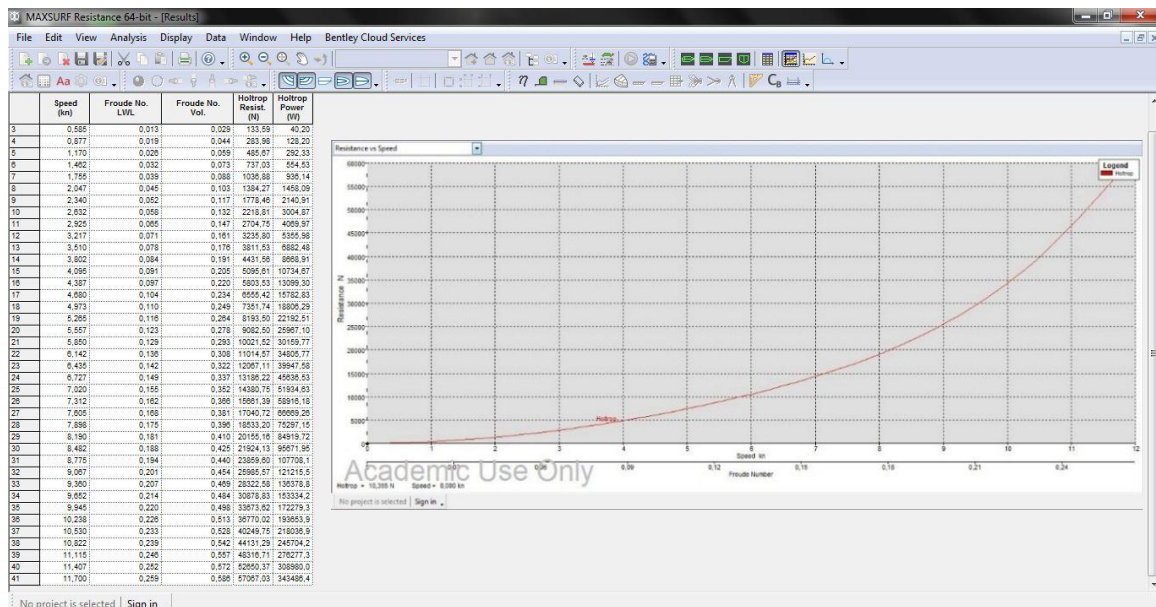
Model sebelumnya yang telah dibuat pada *Maxsurf Modeler* dapat langsung digunakan pada *Maxsurf Resistance*. Setelah program dibuka langkah awal yaitu dengan menentukan metode perhitungan hambatan yang digunakan. Pada simulasi kali ini digunakan metode *HOLTROP* dikarenakan model kapal yang dibuat yaitu kapal cargo dan mempunyai kecepatan yang rendah.

Langkah selanjutnya yaitu menentukan besar kecepatan kapal yang digunakan. Terdapat *range* kecepatan yang nantinya akan digunakan yaitu kecepatan minimum dan maksimum. Selain kedua input diatas, data input yang lain mengikuti program.



Gambar 4. 8 Pengaturan pada *software maxsurf*

Dengan menggunakan *software* ini tidak perlu menggunakan proses *running*, sehingga hasil bisa didapatkan dengan cepat. Hasil perhitungan dapat ditampilkan dalam bentuk numerik dan grafik. Pada *software maxsurf* akan didapat hambatan total, koefisien hambatan total, koefisien hambatan viskos, dan lain-lain. Sehingga besar nilai hambatan total dan viskos dari *software* ini dapat dibandingkan dengan *software Ansys*

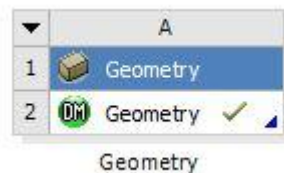


Gambar 4. 9 Nilai hasil hambatan pada *software maxsurf*

## IV.5. Simulasi *Ansys-AQWA*

### IV.5.1. Pembuatan Model Simulasi

Sebelum melakukan simulasi dengan *Ansys-AQWA*, terlebih dahulu dibuat model pada *Ansys-Design Modeler*. Model yang sebelumnya telah dibuat menjadi format (.igs) dibuka pada dengan cara *import design* pada *Design Modeler*. Hal yang perlu diperhatikan saat melakukan input model pada *Ansys-AQWA* adalah model yang dimasukkan harus satu *body* (*surface*). Jika format (.igs) yang dimasukkan berupa *multibody*, maka proses *running* tidak bisa dilakukan. Oleh karena itu perlu dilakukan perbaikan pada geometri model di *Maxsurf*. Selain itu, *surface* kapal yang sudah dibentuk harus menghadap keluar (*pointing outward*).

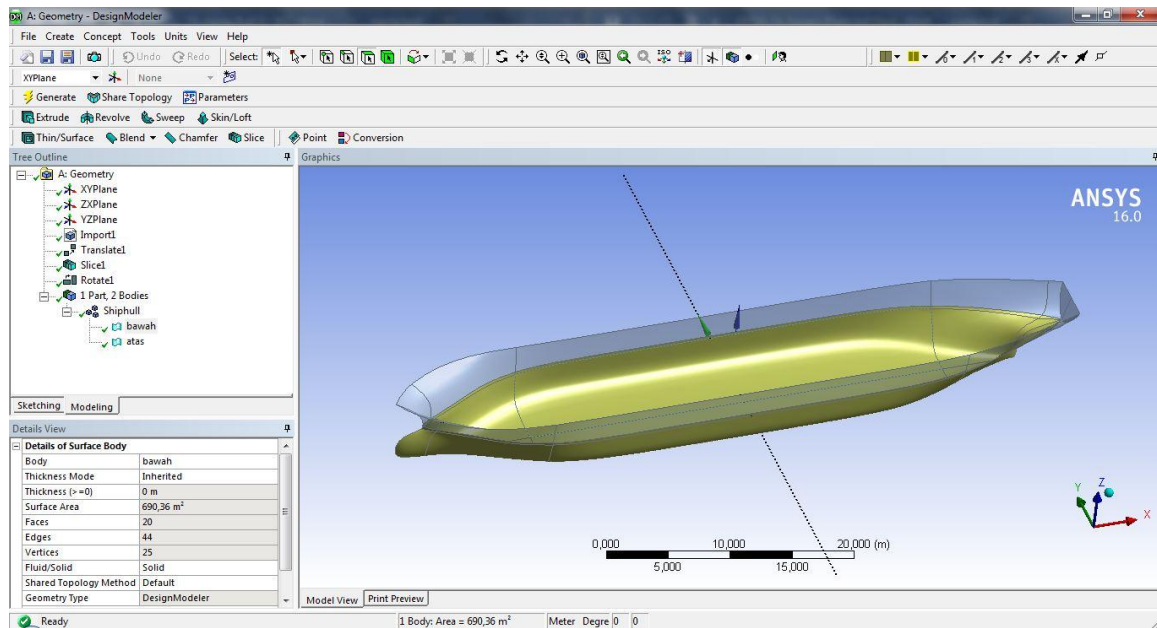


Gambar 4. 10 *tools* geometry

### IV.5.2. Pengaturan Geometri pada ANSYS – Design Modeler

Setelah model di-*import*, selanjutnya dilakukan pengaturan geometri. Langkah-langkah yang harus dilakukan pengaturan geometri pada *Ansys-Design Modeler* adalah sebagai berikut. (ANSYS, 2011)

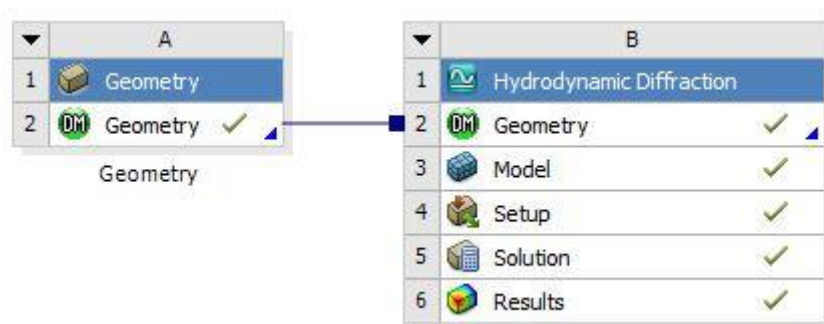
1. Memilih *body operation*, lalu pilih *translation*. Langkah ini dilakukan untuk membuat posisi sarat kapal berada pada sumbu xy.
2. Lalu memilih toolbar *rotate* agar arah aliran fluida sama seperti arah kapal.
3. Pilih toolbar *create – slice*, sehingga kapal akan didefinisikan menjadi dua *body*, yaitu bentuk *body* bagian atas dan *body* bagian bawah garis air. Pembagian *body* berdasarkan perintah *body operation* sebelumnya. Langkah ini dilakukan karena sebelum melakukan proses *running*, model kapal harus didefinisikan bagian tercelup dan bagian yang berada di atas air.
4. Yang terakhir adalah langkah *joint part*, pilih dua bagian kapal pada pohon perintah kemudian klik kanan pada mouse dan pilih perintah *Form New Part*. Langkah ini kemudian akan membuat model kapal menjadi 1 *body* dan 2 *parts*. Jika semua toolbar terdapat centang berwarna hijau berarti tidak terdapat masalah pada model ini.



Gambar 4. 11 Model pada *Ansys-AQWA*

#### IV.5.3. Pengaturan *massa* dan *meshing* model

Setelah melakukan pengaturan geometri pada *design modeler*. Langkah selanjutnya adalah *meshing* dan parameter model kapal yang dibutuhkan untuk proses *running*. Tahap ini dilakukan pada *Ansys-Hidrodinamic Diffraction* dengan cara mentransfer data dari *design modeler*. Langkah ini adalah proses terpenting dalam melakukan simulasi agar hasil nantinya dapat seperti yang diharapkan.



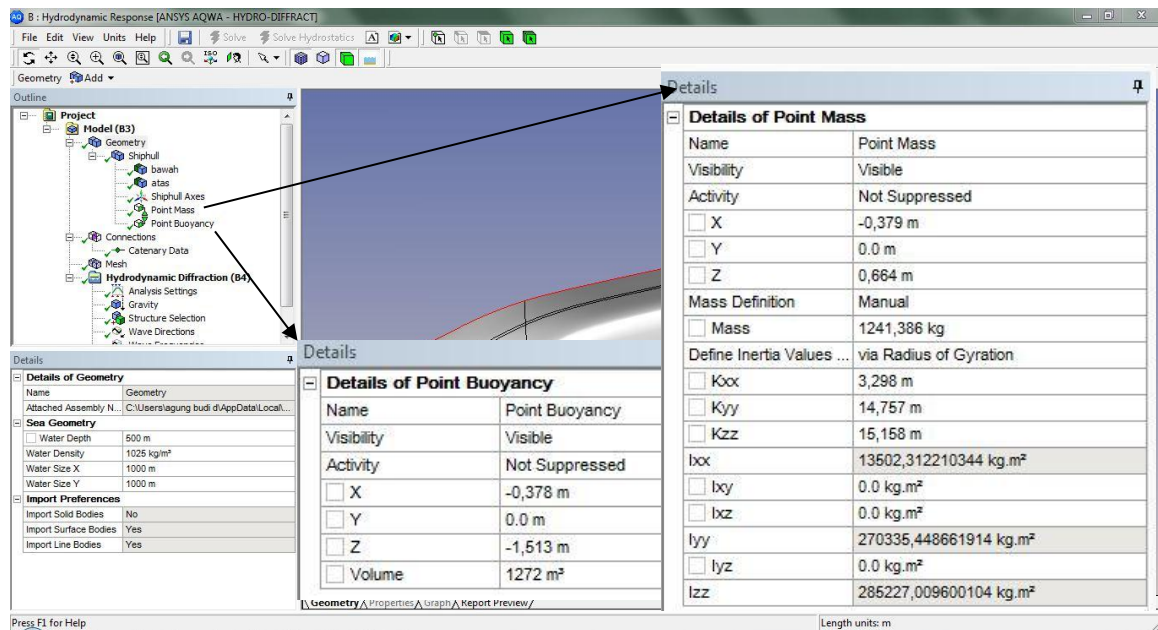
Gambar 4. 12 Transfer data model ke *Hidrodinamic Diffraction*

Urutan langkah yang dilakukan adalah :

1. Mendefinisikan parameter dari media simulasi

Pendefinisian ini terdiri dari : ukuran media, massa jenis fluida, *point mass* dan *point buoyancy* dari model. Dalam pendefinisian massa dari model bisa dilakukan secara manual atau ditentukan langsung oleh program. Karena nilai massa dari kapal sudah didapatkan dari

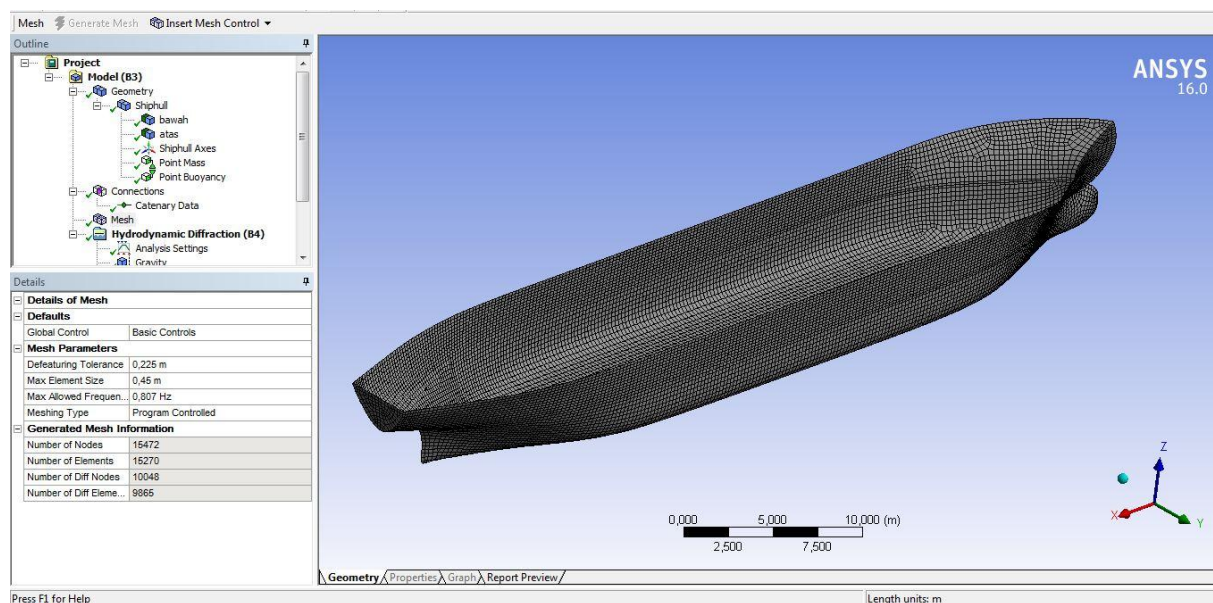
data ukuran utama kapal maka pendefinisian massa lebih baik dilakukan secara manual untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.



Gambar 4. 13 Pengaturan berat dan *buoyancy* kapal

## 2. Meshing

Proses *meshing* bertujuan untuk mendefinisikan kapal menjadi elemen kecil sehingga nilai hidrodinamis dari model bisa didapatkan. Terdapat tiga pilihan *meshing* yaitu : *surface meshing*, *combine meshing*, dan *program controlled*. Semakin kecil ukuran *meshing* maka akan semakin bagus, namun tetap harus dilakukan konvergensi untuk mencari nilai *meshing* yang optimum.



Gambar 4. 14 Hasil *meshing* pada Ansys AQWA



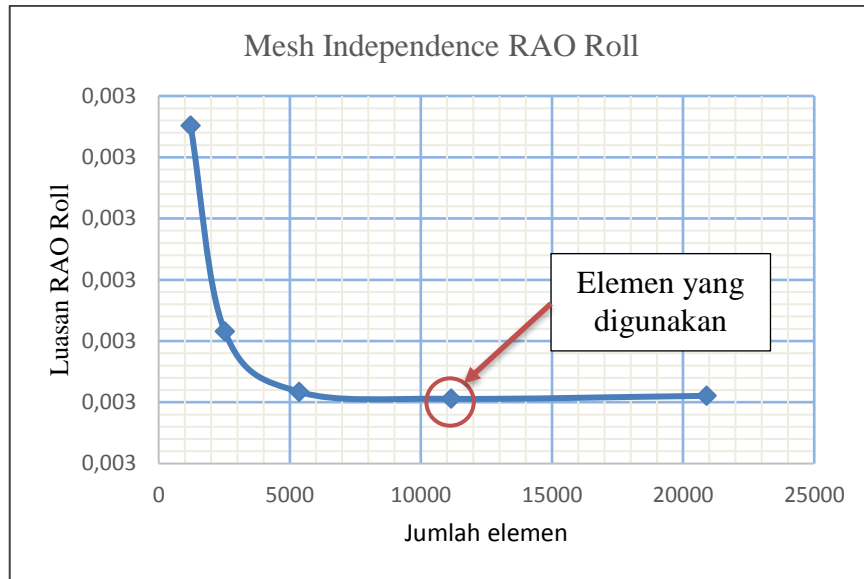
### 3. *Grid Independance meshing*

*Meshing* akan menentukan tingkat ketelitian hasil simulasi yang akan dilakukan sehingga penentuan jumlah *meshing* yang nantinya akan digunakan sebagai acuan sangatlah penting. Semakin banyak jumlah elemen *meshing* maka model akan semakin bagus tetapi membutuhkan spesifikasi komputer yang lebih tinggi. Selain itu banyaknya *meshing* juga berpengaruh terhadap lama waktu *running* program. Jumlah *meshing* yang optimum akan sangat membantu dalam proses simulasi sehingga proses *running* tidak terlalu lama dan hasil yang diperoleh tetap mendekati aslinya. *Grid independence* untuk simulasi ini dengan membandingkan jumlah elemen dan luasan RAO. Jumlah elemen model dapat dikatakan optimum jika selisih hasil antara dua percobaan yang berurutan berdasarkan penambahan elemennya adalah 2%. (Anderson, 1995)

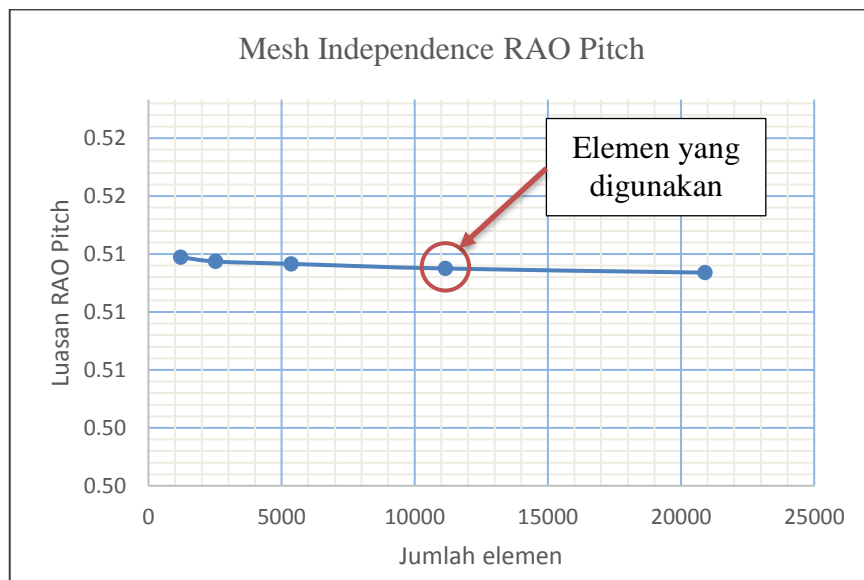
Dalam proses konvergensi *meshing* ini mengacu pada *A First Course In The Finite Element Method* <sup>4th</sup> edition, mengenai *Practical Consideration in Modeling*, karangan Dary L. Logan. Proses konvergensi minimal dilakukan dengan variasi 5 ukuran elemen (Logan, 2007). Pada kasus ini proses konvergensi akan dilakukan dengan 5 ukuran dengan selisih masing-masing elemen sebesar 2 kali dari elemen lainnya. Hasil yang akan dibandingkan adalah nilai RAO gerakan *Roll*, *Pitch*, dan *Heave* dalam sudut pembebanan 90° sebagai berikut.

Tabel 4. 4 Perbandingan jumlah elemen terhadap luasan RAO

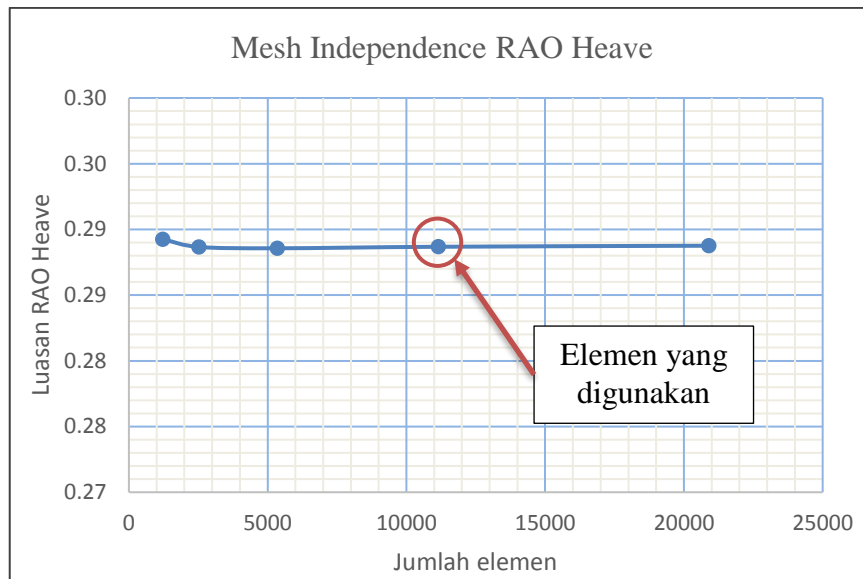
NO	Jumlah elemen	Luasan RAO Roll	Luasan RAO Pitch	Luasan RAO Heave	Selisih
1	1217	2.710	0.5118	0.2893	
2	2522	2.643	0.5116	0.2887	2.542%
3	5357	2.623	0.5115	0.2886	0.752%
4	11154	2.621	0.5113	0.2887	0.087%
5	20903	2.622	0.5110	0.2888	-0.037%



Gambar 4. 15 *Grid independence RAO-Roll*



Gambar 4. 16 *Grid independence RAO-Pitch*



Gambar 4. 17 *Grid independence RAO-Heave*

Berdasarkan kurva dan tabel diatas terlihat bahwa elemen optimum berada pada no 4 dengan jumlah elemen 11154. Pemilihan elemen tersebut karena selisih luasan RAO yang didapat dengan jumlah elemen setelahnya sangat kecil yaitu 0,037%. Selain itu, berdasarkan pertimbangan spesifikasi komputer dan kerapihan elemen pada elemen ini membutuhkan waktu running yang tidak telalu lama yaitu 1 jam dibandingkan dengan elemen 5 yaitu 3 jam.

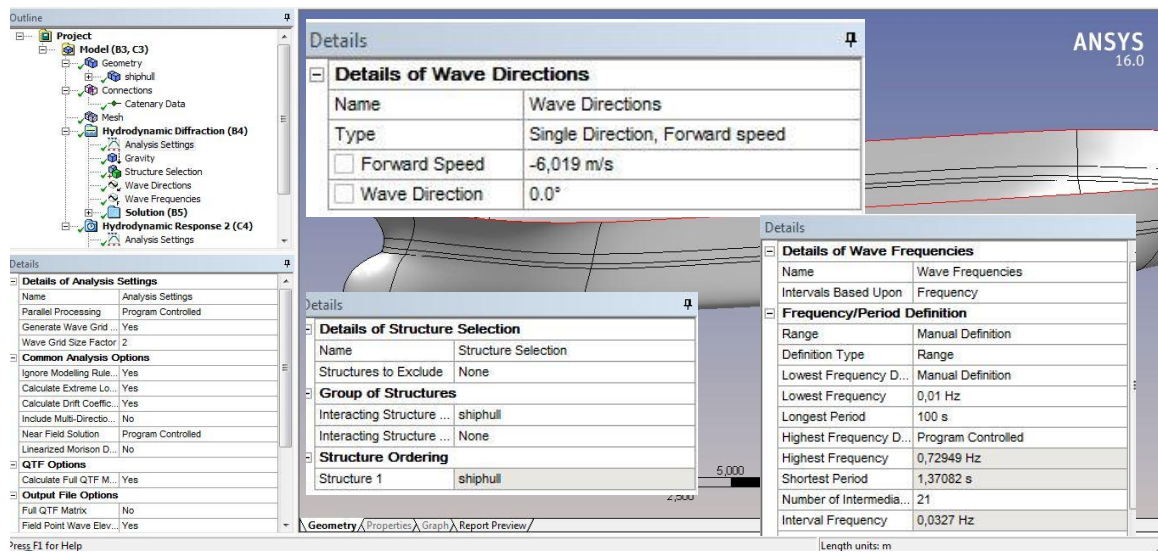
#### IV.5.4. *Hydrodynamic Diffraction*

Tahap ini adalah proses simulasi untuk mencari nilai RAO dari model yang sebelumnya telah dibuat. Agar mendapatkan hasil yang sesuai, sebelum memulai simulasi bagian-bagian yang harus di-*setting* antara lain (ANSYS, 2011).

1. *Analisis Setting*, diatur mengikuti panduan dari *ANSYS Training manual (2011)*, yaitu : merubah kolom “*Ignore Modeling Rule*” menjadi *Yes*, dan kolom “*Calculate Full QTF Matrix*” menjadi *No*.
2. *Gravity*, diisi dengan nilai gravitasi yang digunakan yaitu  $9,81 \text{ m/s}^2$ .
3. *Structure Selection*, stuktur yang digunakan “*ShipHull*” dan selebihnya mengikuti program.
4. *Wave Direction*, yaitu *range* arah datangnya gelombang terhadap kapal. Pada simulasi ini menggunakan arah datang gelombang  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ , dan  $180^\circ$ .
5. *Wave Frequencies*, yaitu besar nilai frekuensi gelombang yang diinginkan saat mulai simulasi dan akhir simulasi. Besar nilai frekuensi sangat ditentukan oleh besar meshing,

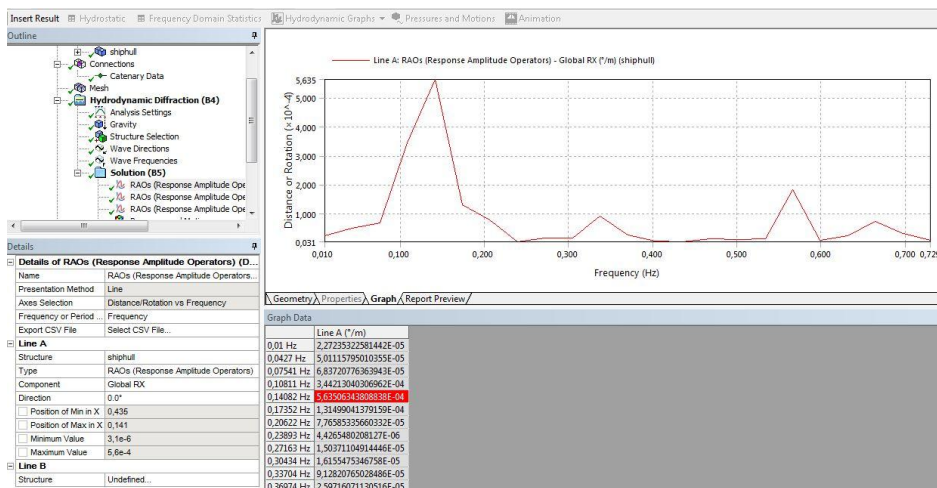


jika semakin banyak elemen yang digunakan maka nilai frekuensi yang digunakan juga dapat semakin besar.

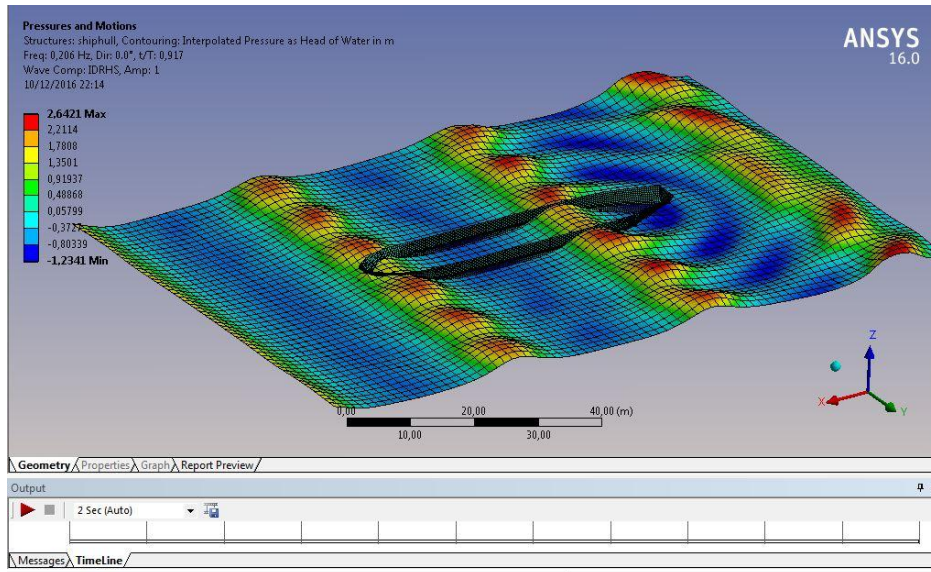


Gambar 4. 18 Pengaturan pada *Hidrodynamic Deffraction*

Setelah semua pengaturan benar, maka selanjutnya adalah *running* atau *solver*. Lama waktu yang dibutuhkan pada saat *solver* tergantung pada jumlah elemen yang digunakan. Untuk memasukkan perintah perhitungan RAO dapat digunakan dengan cara klik kanan pada *solution* - *insert result* - *RAO*. Dengan satu kali *solver* bisa mendapatkan beberapa hasil sekaligus tergantung pada input yang telah dimasukkan sebelumnya.



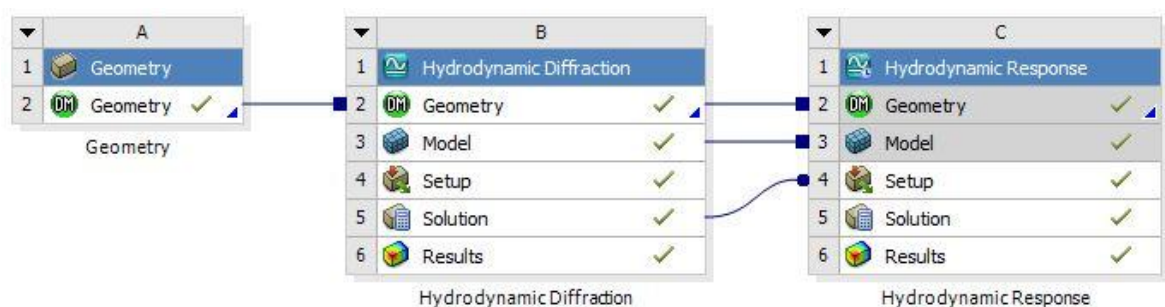
Gambar 4. 19 Hasil *Response Amplitude Operator (RAO)*



Gambar 4. 20 Simulasi RAO

#### IV.5.5. Hydrodynamic Time Response

*Software* ini merupakan bagian kelanjutan dari software *ANSYS-Hydrodynamic Diffraction*. Digunakannya *software* ini adalah untuk mencari *Motion position* dan *Motion acceleration* pada gelombang acak (*irregular wave*). Pada *motion position* yang dihitung hanya pada gerakan *roll* dan *pitch*. Sedangkan untuk *motion acceleration* yang dihitung adalah *vertical acceleration* (gerakan arah sumbu Z). *Motion acceleration* digunakan untuk memperkirakan respon suatu struktur terhadap gaya yang bekerja terhadapnya dikaitkan dengan ketahanan manusia yang ada atau bekerja di dalam/atas struktur tersebut. Setelah *solution* pada *Hydrodynamic Diffraction* didapatkan maka data dapat langsung ditransfer ke *Hydrodynamic Time Response*. Pada *software* ini dapat memasukkan kondisi lingkungan seperti kecepatan angin, ketinggian gelombang, gelombang acak (*irregular wave*), dan lain-lain. Cara memasukkan *Time response* yaitu dengan klik kanan pada kolom *solution* - lalu *insert Time Response*.



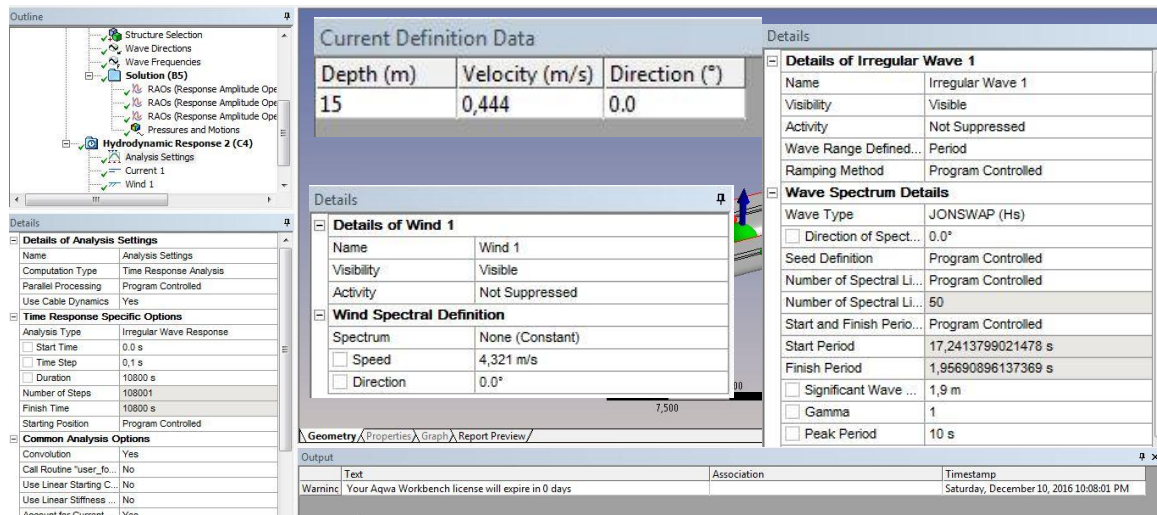
Gambar 4. 21 Transfer data ke *Hydrodynamic Response*

Kondisi yang digunakan untuk simulasi *Time response* ini adalah :

1. *Analisis Setting*, untuk mendapatkan *motion acceleration* dari kapal menggunakan *time domain simulation*. Pada prosesnya, simulasi ini dimulai dari suatu kondisi awal atau *transient* yang digunakan untuk mencari kondisi *steady* atau kondisi yang stabil (tepat pada *equilibrium*). Setelah kondisi *steady* tercapai dilanjutkan dengan simulasi *time domain* hingga sisa waktu yang ditentukan, yaitu tiga jam berdasarkan *rules* (GL Nobel Denton, 2010)
2. Kecepatan arus.
3. Kecepatan dan Arah Angin, menggunakan *spectrum API*.
4. *Irregular Wave*, beberapa input yang harus dimasukkan yaitu *wave spectrum*, *heading wave*, *significan wave height*, *gamma*, dan *peak period*. Untuk *heading wave*, karena laut jawa berada pada *sea state-4* menurut *World Meteorogical Organisation (WMO)* yaitu *moderate* dengan rentang tinggi gelombang 1,25 – 2,5 meter. *Significant wave height* diambil 1,9 meter berdasarkan data yang didapatkan dari BMKG Surabaya untuk perairan laut jawa. Untuk *wave spectrum* dipilih *spectrum Joint North Sea Wave Project (JONSWAP)* Karena laut Indonesia mirip dengan laut utara dan merupakan daerah kepulauan. Nilai *gamma* diambil pada perairan Indonesia, yaitu antara 2,0 – 2,5 (Djatkiko, 2012). Pada simulasi ini diambil nilai *gamma* sebesar 2,25. *Peak periods* digunakan nilai 10 sesuai dengan batasan kriteria yang diberikan oleh *Guidelines for Marine Transportations*. (GL Nobel Denton, 2010)

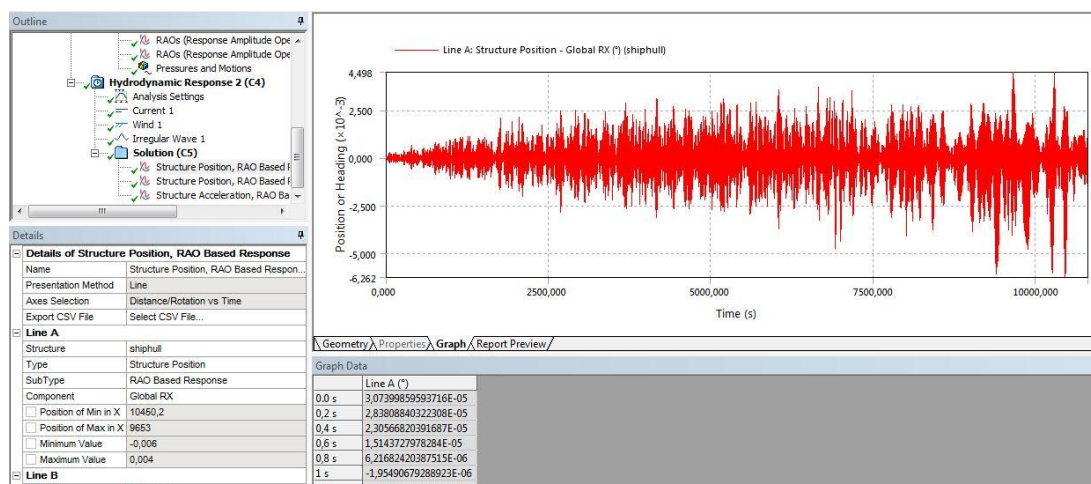
Tabel 4. 5 Data ketinggian gelombang  
(Sumber: BMKG perak Surabaya)

Data gelombang laut jawa 2015		
Ketinggian gelombang	1.9	m
Kecepatan arus	44.4	cm/s
Kecepatan Angin	8.4	knot



Gambar 4. 22 Pengaturan pada *Hidrodynamic Response*

Data yang dimasukkan ke dalam kondisi-kondisi diatas didapatkan dari BMKG untuk daerah Pelayaran laut jawa bagian utara surabaya. Setelah semua kondisi lingkungan dimasukkan, langkah selanjutnya adalah *solving*. Hasil *solving* yang dipilih adalah *Structure Position*, *RAO Based Response (Acceleration Vs Time)* dan *Structure Acceleration*, *RAO Based Response (Acceleration Vs Time)*. Lalu hasil inilah yang digunakan sebagai batasan kriteria seakeeping pada model kapal cargo. Batasan tersebut akan dibandingkan dengan batasan gerak model kapal.

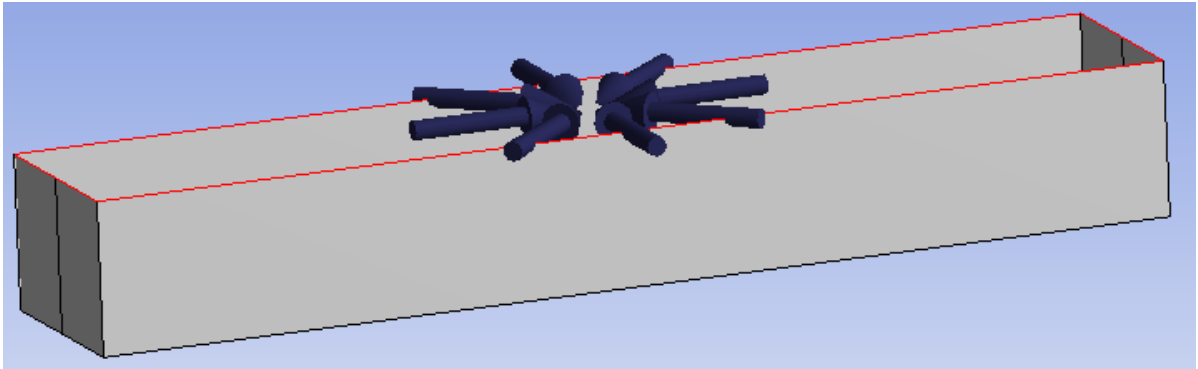


Gambar 4. 23 Hasil simulasi *Time Response*

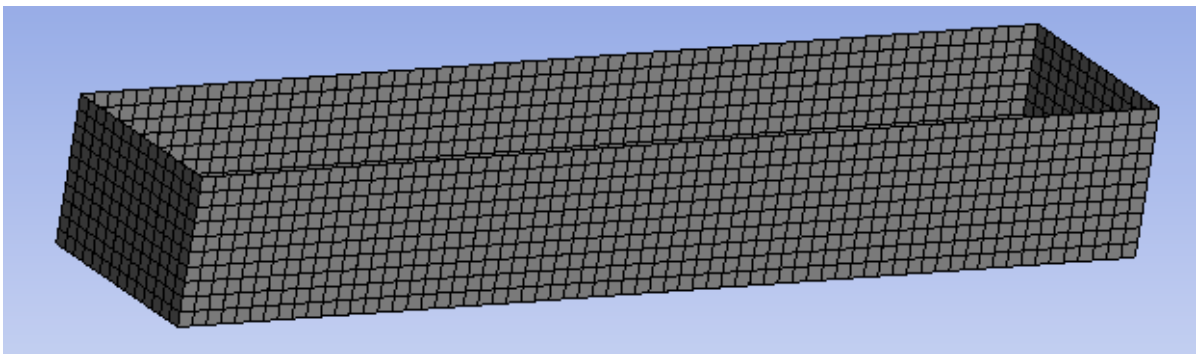
#### IV.5.6. Validasi Model

Validasi yang digunakan untuk membandingkan hasil diberikan oleh *Ansys-AQWA* menggunakan model *box*. Ukuran dari model yang dibuat disesuaikan dengan ukuran dan parameter dari *WAMIT*. Model *box* yang akan dianalisis seperti Gambar 4.21, memiliki ukuran utama panjang, lebar, dan sarat berturut-turut 200m, 40m, dan 28m. Box tersebut juga diketahui

memiliki *displacement* dan titik grafitasi vertikal sebesar 229.645 ton dan 28 m. Model box yang digunakan sebagai validasi *WAMIT* sebagai berikut.



Gambar 4. 24 Model validasi *WAMIT*



Gambar 4. 25 Hasil *meshing* model validasi

Setelah model dibuat dan dilakukan *meshing* seperti gambar diatas. Maka selanjutnya dilakukan analisis dengan *Software Ansys-AQWA*. Analisis yang dliakukan untuk mendapatkan nilai RAO dari model dan diuji dalam arah pembebanan gelombang  $45^\circ$

Setelah pemodelan selesai selanjutnya running untuk mencari *Response Amplitudo Operators (RAO)* yang nantinya akan dibandingkan dengan RAO dari *WAMIT*. Nilai RAO yang didapatkan dari *Ansys Aqwa* sebagai berikut.

Tabel 4. 6 Data Hasil *WAMIT*  $\mu = 45^\circ$

Periode (s)	Response Amplitude Operators (RAO)					
	Surge (m/m)	Sway (m/m)	Heave (m/m)	Roll (deg/m)	Pitch (deg/m)	Yaw (deg/m)
4	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,003
6	0,022	0,017	0,000	0,010	0,000	0,003
8	0,083	0,059	0,011	0,044	0,000	0,014
10	0,044	0,047	0,027	0,035	0,116	0,272
12	0,204	0,232	0,500	0,156	0,418	0,361
14	0,238	0,352	1,710	0,207	2,060	0,351
16	0,433	0,439	1,250	0,222	1,440	0,312
18	0,501	0,500	1,110	0,221	0,717	0,269

20	0,545	0,542	1,050	0,209	0,501	0,232
22	0,578	0,572	1,030	0,193	0,381	0,200
24	0,606	0,595	1,010	0,179	0,309	0,173
26	0,624	0,612	1,010	0,162	0,266	0,150
28	0,640	0,626	1,000	0,148	0,222	0,132
30	0,652	0,639	1,000	0,135	0,192	0,116
32	0,658	0,649	1,000	0,122	0,164	0,104
34	0,665	0,655	1,000	0,111	0,148	0,092
36	0,670	0,663	1,000	0,102	0,131	0,083
38	0,676	0,667	1,000	0,094	0,116	0,075
40	0,679	0,672	1,000	0,087	0,106	0,068
42	0,686	0,676	1,000	0,079	0,095	0,062
MAX =	0,686	0,676	1,710	0,222	2,060	0,361

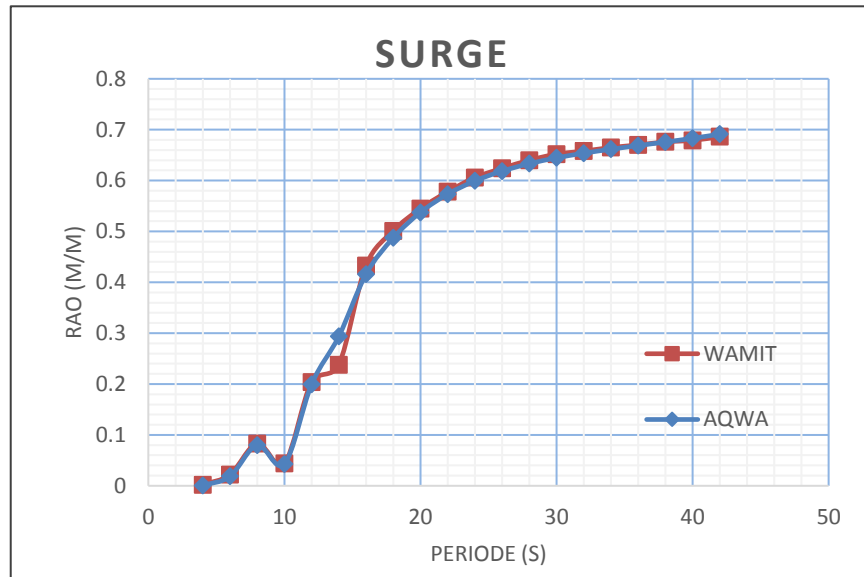
Tabel 4. 7 Data Hasil Ansys AQWA  $\mu = 45^\circ$

Periode (s)	Response Amplitude Operators (RAO)					
	Surge (m/m)	Sway (m/m)	Heave (m/m)	Roll (deg/m)	Pitch (deg/m)	Yaw (deg/m)
42	0,691	0,685	1,000	0,084	0,093	0,074
40	0,683	0,677	1,000	0,090	0,102	0,080
38	0,676	0,669	1,001	0,098	0,112	0,088
36	0,669	0,661	1,001	0,107	0,124	0,097
34	0,662	0,654	1,001	0,118	0,139	0,107
32	0,654	0,646	1,002	0,129	0,156	0,120
30	0,645	0,636	1,003	0,143	0,177	0,135
28	0,633	0,625	1,005	0,158	0,203	0,152
26	0,619	0,610	1,008	0,175	0,235	0,174
24	0,599	0,592	1,014	0,194	0,275	0,199
22	0,573	0,567	1,026	0,213	0,327	0,230
20	0,537	0,535	1,049	0,233	0,399	0,267
18	0,487	0,491	1,103	0,249	0,506	0,309
16	0,416	0,431	1,241	0,255	0,710	0,354
14	0,294	0,347	1,679	0,242	1,463	0,392
12	0,199	0,228	0,501	0,186	1,119	0,398
10	0,043	0,045	0,027	0,042	0,192	0,310
8	0,080	0,057	0,009	0,056	0,013	0,015
6	0,019	0,016	0,000	0,012	0,002	0,002
4	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002
MAX =	0,691	0,685	1,679	0,255	1,463	0,398

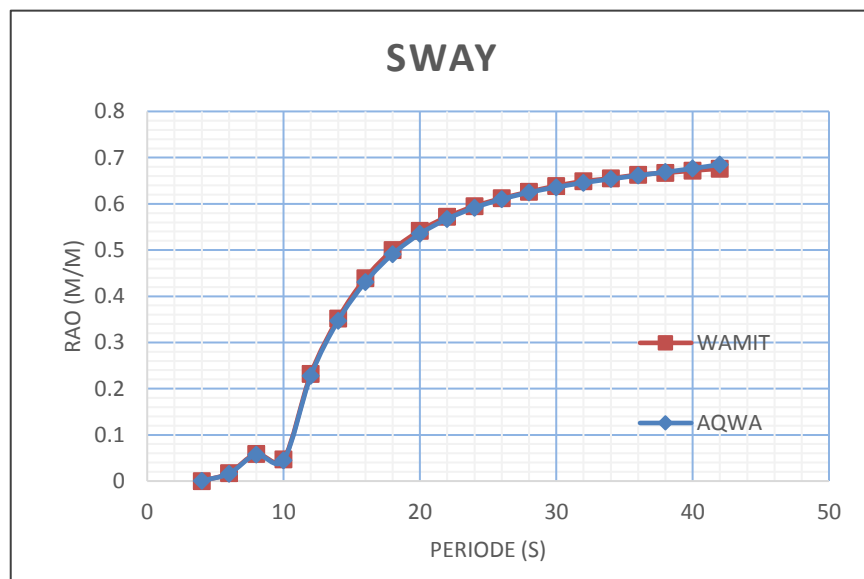


Berikut adalah hasil RAO perbandingan antara *Software Ansys* dan WAMIT:

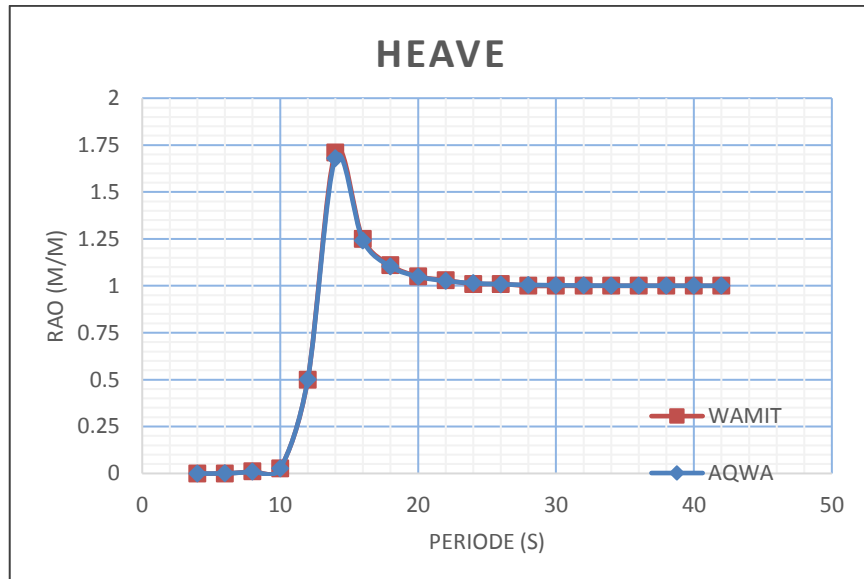
1. Gerakan Translasi



Gambar 4. 26 Perbandingan gerakan translasi searah sumbu-x *Ansys-AQWA* dengan WAMIT

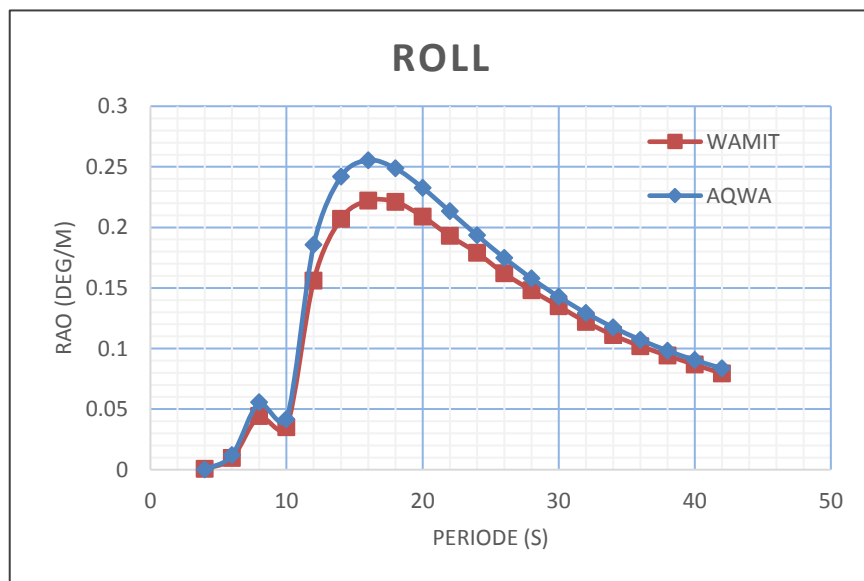


Gambar 4. 27 Perbandingan gerakan translasi searah sumbu-y *Ansys-AQWA* dengan WAMIT



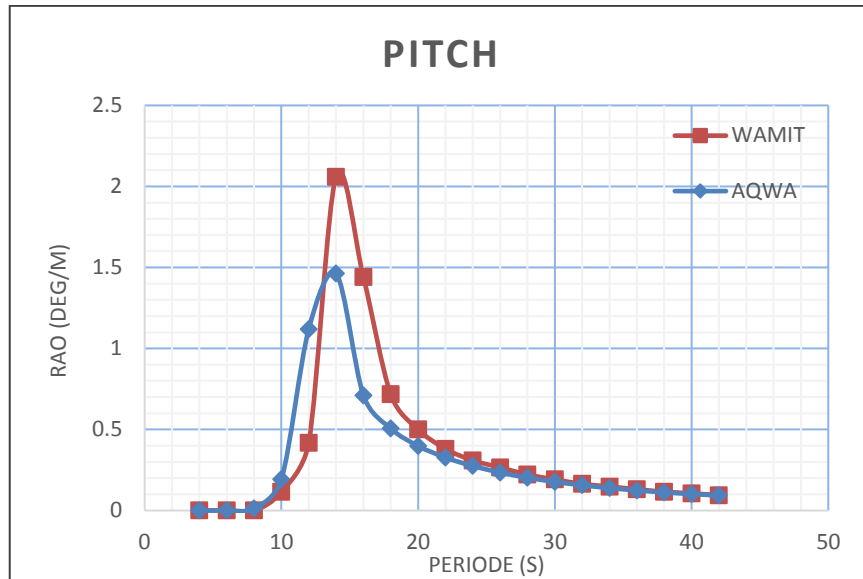
Gambar 4. 28 Perbandingan gerakan translasi searah sumbu-z *Ansys-AQWA* dengan *WAMIT*

## 2. Gerakan Rotasi

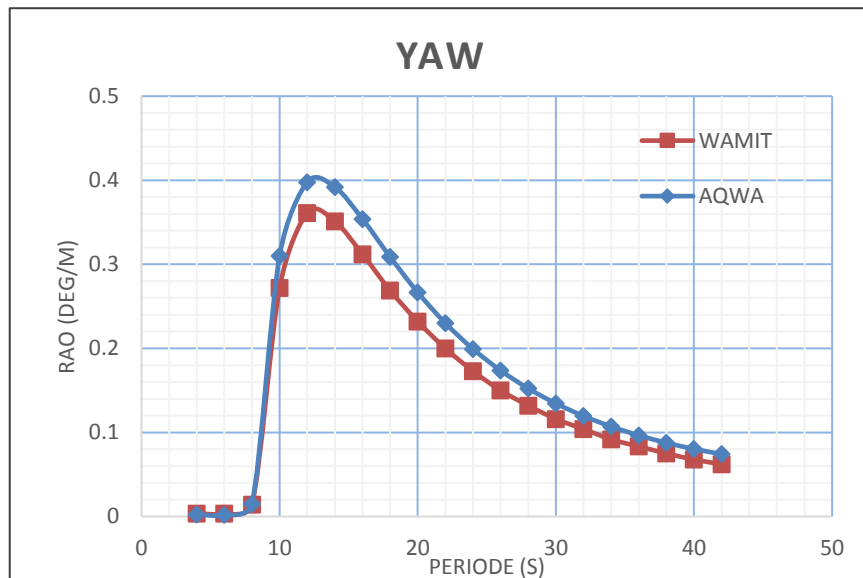


Gambar 4. 29 Perbandingan gerakan rotasi searah sumbu-x *Ansys-AQWA* dengan *WAMIT*





Gambar 4. 30 Perbandingan gerakan rotasi searah sumbu-y *Ansys-AQWA* dengan *WAMIT*



Gambar 4. 31 Perbandingan gerakan rotasi searah sumbu-z *Ansys-AQWA* dengan *WAMIT*

Setelah analisis yang telah dilakukan dalam gerakan translasi maupun rotasi, didapatkan hasil dan memiliki trend yang hampir sama diantara kedua software. Hasil ini mempresentasikan bahwa *software* yang digunakan pada pemodelan ini cukup valid. Kesamaan ini didapatkan karena metode yang dipakai dalam perhitungan menggunakan teori yang sama yaitu difraksi 3 dimensi.

*Ansys-AQWA* dan *WAMIT* memang memiliki kesamaan metode dalam menganalisis suatu model. Setelah dilakukan peninjauan lebih lanjut terdapat perbedaan dalam perangkat lunak merepresentasikan gelombang, selain menggunakan radiasi dan difraksi gelombang multi benda pada orde pertama *wamit* juga meninjau gelombang bikromatik dalam orde kedua. Hal

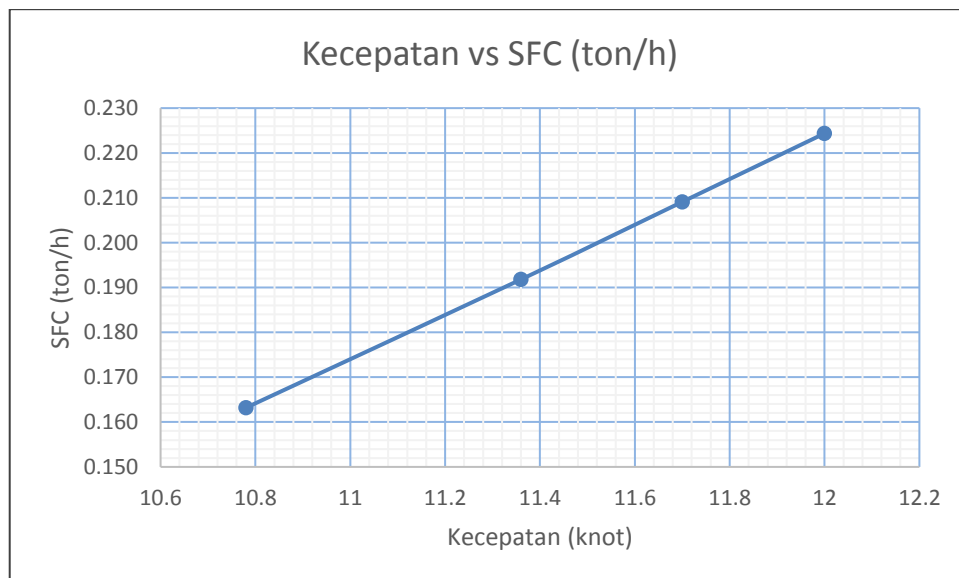
tersebut diyakini sebagai penyebab terkait perbedaan nilai antara Ansys Aqwa dan Wamit dalam gerakan rotasional.

#### IV.6. Perhitungan Emisi Gas Buang

Emisi gas buang yang mempunyai pengaruh terhadap kecepatan adalah *Carbon Dioksida* ( $CO_2$ ) dan *Nitrogen Oksida* ( $NO_x$ ). *Sulfur Oksida* ( $SO_x$ ) tidak terdapat mempunyai pengaruh terhadap kecepatan karena sulfur adalah kandungan yang terdapat pada bahan bakar. Sehingga sulfur oksida tidak perlu diperhitungkan. Berikut adalah data *Specific Fuel Consumption* (*SFC*) pada setiap kecepatan kapal.

Tabel 4. 8 Konsumsi bahan bakar

	Kecepatan (knot)	RPM	kw	SFC (ton/h)	SFC (gr/kwh)
MCR	12	750	1368	0,2244	164,009
SCR 100%	11,7	731	1334	0,2091	156,770
SCR 90%	11,36	724	1295	0,1918	148,104
SCR 75%	10,78	681	1229	0,1632	132,800



Gambar 4. 32 Grafik konsumsi bahan bakar berdasarkan kecepatan

##### IV.6.1. Perhitungan EEDI

*EEDI* (*Energy Efficiency Design Index*) adalah untuk menghitung besar nilai *Carbon dioksida* ( $CO_2$ ). Berikut adalah perhitungan EEDI menggunakan data-data mesin yang telah terpasang pada kapal (*existing engine*) dengan kerja mesin 1 jam. (Trozzi & Vaccaro, 1998)

$$V = 11,7 \text{ knot}$$

$$S_{fc} = 0,2091 \text{ ton/h}$$

$$= 156,77 \text{ gr/kwh}$$

$$C_f = 3200 \text{ kg/ton bahan bakar (Trozzi \& Vaccaro, 1998)}$$

$$P = 1334 \text{ kw}$$

$$C = 1273 \text{ ton}$$

Maka, perhitungan EEDI sebagai berikut :

$$EEDI = \frac{1334 \times 156,77 \times 3200}{1273 \times 11,7}$$

$$EEDI = 39,039 \text{ gm CO}_2/\text{tonne.mile}$$

Nilai dari hasil perhitungan diatas adalah dari mesin yang terpasang. Sehingga perlu dilakukan perbandingan dengan data power mesin kapal yang baru (*repowering*). Data mesin yang baru didapatkan dengan menghitung bhp mesin dengan hambatan yang didapatkan dengan software Ansys-CFD. Perhitungan EEDI dengan nilai BHP yang baru yaitu:

$$P = 1072 \text{ kw}$$

$$V = 11,7 \text{ knot}$$

$$S_{fc} = 0,168 \text{ ton/h}$$

$$= 156,75 \text{ gr/kwh}$$

$$C_f = 3200 \text{ kg/ton bahan bakar (Trozzi \& Vaccaro, 1998)}$$

$$C = 1273 \text{ ton}$$

Maka, perhitungan EEDI sebagai berikut :

$$EEDI = \frac{1072 \times 156,75 \times 3200}{1273 \times 11,7}$$

$$EEDI = 31,3757 \text{ gm CO}_2/\text{tonne.mile}$$

Perhitungan energi index pada kapal ini mempunyai perbedaan antara perhitungan menggunakan data *existing condition* dan data mesin berdasarkan hambatan kapal/ model. Pada perhitungan ini data dari *repowering engine* menghasilkan *index energy* lebih kecil dari perhitungan data *existing condition*, hal ini dikarenakan daya mesin yang digunakan terlalu besar dari perhitungan yang dihasilkan sehingga apabila kapal menggunakan mesin dari hasil perhitungan model yang digunakan maka kapal akan menjadi semakin ramah lingkungan dan lebih irit dari segi ekonomis. EEDI yang dihasilkan perhitungan dari model didapatkan selisih 7,663 gm CO2/ tonne.mille lebih kecil atau 19% dari nilai EEDI *existing*.

Sesuai dengan *IMO – Energy Efficient Ship Operation Regulation 21* maka perlu untuk memperhitungkan nilai yang dianjurkan sebagai acuan besar emisi EEDI. Dengan perhitungan sebagai berikut.

$$a = 174,22$$

$$b = 1273 \text{ ton}$$

$$c = 0,216$$

$$\begin{aligned} \text{Reference EEDI} &= 174,22 * 1273^{-0,216} \\ &= 37,192 \text{ gm CO}_2/\text{ton.mille} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Required EEDI} &= (1-10/100) * 37,192 \\ &= 33,473 \text{ gm CO}_2/\text{ton.mille} \end{aligned}$$

Nilai EEDI yang telah dihitung diatas akan menjadi perbandingan terhadap besar emisi EEDI mesin *existing*, dan EEDI mesin baru. (IMO, 2016)

#### **IV.6.2. Perhitungan Nitrogen Oksida (NOx)**

Sesuai dengan Marpol Annex VI regulasi 13, besar jumlah *Nitrogen Oksida* (NOx) yang dihasilkan oleh mesin harus dibatasi sesuai dengan kriteria. Sesuai dengan batas/ *Tier* yang berlaku dikarenakan mesin ini dipasang pada kapal setelah tanggal 1 januari 2011, maka nilai NOx harus dibawah *Tiers II*. Berikut adalah perhitungan untuk mencari besar *nitrogen oksida* yang dikeluarkan oleh mesin dengan kecepatan 11,7 knot.

$$\text{FC} = 0,2091 \text{ ton/h}$$

$$\text{EF} = 57 \text{ kg/tonne bahan bakar (Trozzi \& Vaccaro, 1998)}$$

$$\text{Kw} = 1334$$

$$E_{\text{Trip}} = 0,2091 \times 57$$

$$= 11,9187 \text{ kg/h}$$

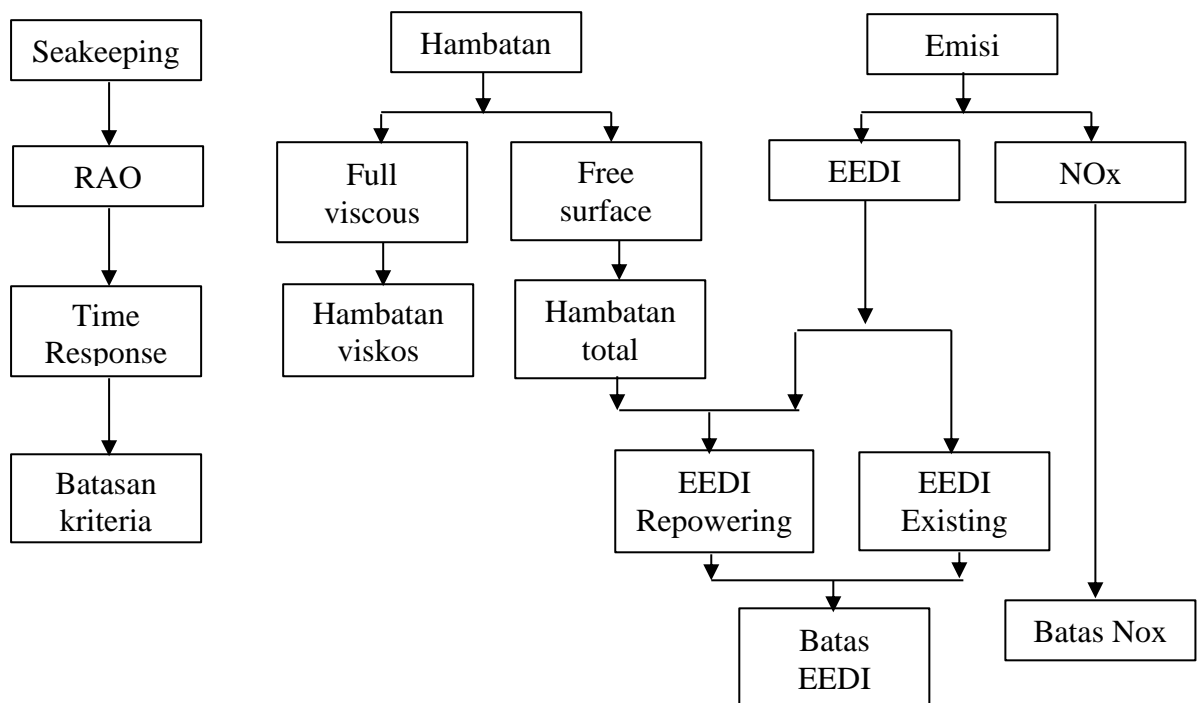
$$= 8,935 \text{ gr/kwh}$$

Perhitungan diatas selanjutnya digunakan untuk menghitung *Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>)* dengan dua kondisi yaitu kondisi *Maximum Continous Rating (MCR)* dan *Service Continous Rating (SCR)*.

## BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### V.1. Pendahuluan

Pada Bab V ini akan dilakukan proses Analisa terhadap hasil simulasi dan perhitungan. Proses ini terdiri dari simulasi hambatan total, hambatan viskos, analisis seakeeping/olah gerak kapal, dan perhitungan emisi.



Gambar 5. 1 Proses simulasi ANSYS dan perhitungan emisi

### V.2. Hasil Simulasi *Full Viscous*

Dari simulasi *full viscous* pada kapal ini didapatkan hasil berupa data gaya hambat (*drag force*) dari model uji. Data hasil simulasi diklasifikasikan berdasarkan variasi kecepatan pada kondisi *Service Continous Rating* (SCR) mesin kapal yaitu dengan kecepatan 10,78 knot; 11,36 knot; dan 11,7 knot. Hasil simulasi hambatan viskos dari *Software Ansys-CFD* akan dibandingkan dengan *software Maxsurf Resistance*.

Pada *Maxsurf Resistance* hanya dapat mengetahui hambatan total dan *coefficient viscous*, sehingga untuk menghasilkan hambatan viskos dengan menggunakan perhitungan.

Perhitungan ini menggunakan rumus *holtrop* yang dijelaskan pada *Principal Naval Architecture vol II*. (Lewis, 1988)

$$C_t = C_w + C_v \quad (5.1)$$

$$R_T = 0.5 \cdot \rho \cdot V_S^2 \cdot S_{\text{total}} \cdot C_{FO} \cdot (1 + k) \quad (5.2)$$

Dimana:

$C_t$  = Koefisien hambatan total

$C_w$  = Koefisien hambatan gelombang

$C_v$  = Koefisien hambatan viskos

Dengan menggunakan rumus diatas didapatkan hambatan viskos dari *software Maxsurf* sebagai berikut.

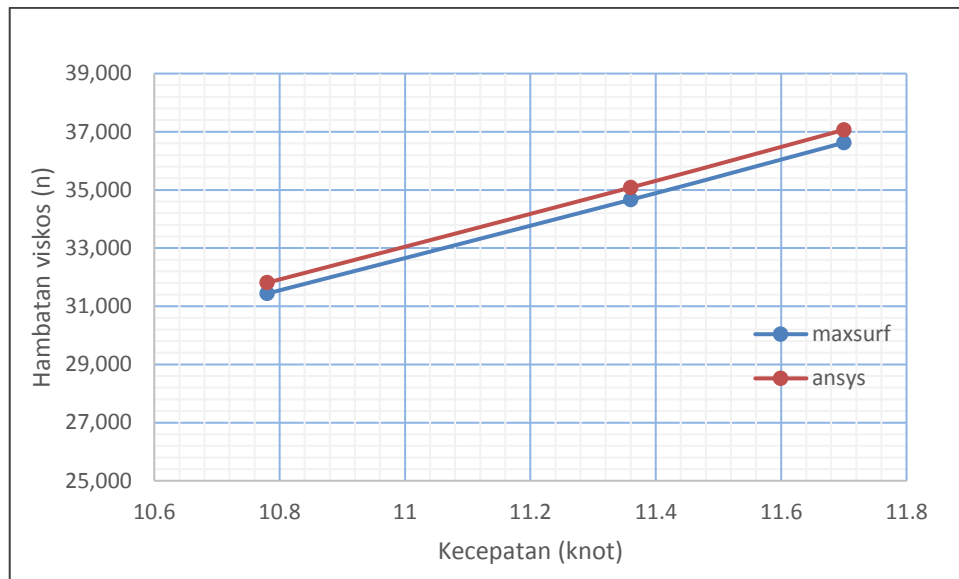
Tabel 5. 1 Perbandingan koefisien hambatan pada *software maxsurf*

Kecepatan (knot)	RT Maxsurf (N)	ct	cw	cv	RV Maxsurf (N)	Perbandingan Cv terhadap Ct
10,78	43479,27	3,996	1,106676	2,889	31437,423	72%
11,36	51828,73	4,288	1,420386	2,868	34661,655	67%
11,7	56925,21	4,440	1,583527	2,857	36622,984	64%

Dengan hasil perhitungan hambatan viskos maka dapat dibandingkan dengan simulasi pada *software Ansys-CFD* seperti berikut.

Tabel 5. 2 Hasil simulasi hambatan viskos

Kecepatan (Knot)	Froude Number	Hambatan viskos		Selisih
		Maxsurf (N)	Ansys (N)	
10,78	0,238	31437,423	31809,8	1,171%
11,36	0,251	34661,655	35081,65	1,197%
11,7	0,259	36622,984	37063,7	1,189%



Gambar 5. 2 Kurva perbandingan hambatan viskos dengan kecepatan

Sesuai dengan hasil diatas, hambatan viskos yang didapatkan dari kedua *software* tidak terlalu jauh. Sehingga dapat dipastikan hasil tersebut valid. Kedua hasil tersebut mempunyai perbedaan nilai sebesar kurang lebih 1,18%. Hasil pada *software ansys* pada ketiga kecepatan mempunyai nilai yang sedikit lebih besar dari pada hasil dari *software Maxsurf*. Hal tersebut dikarenakan pada *software Maxsurf* menggunakan dasar strip teory yaitu dengan rumus pendekatan. Pada *software Ansys-CFD* menggunakan metode model panel sehingga simulasinya dapat lebih detail berdasarkan bentuk badan kapal.

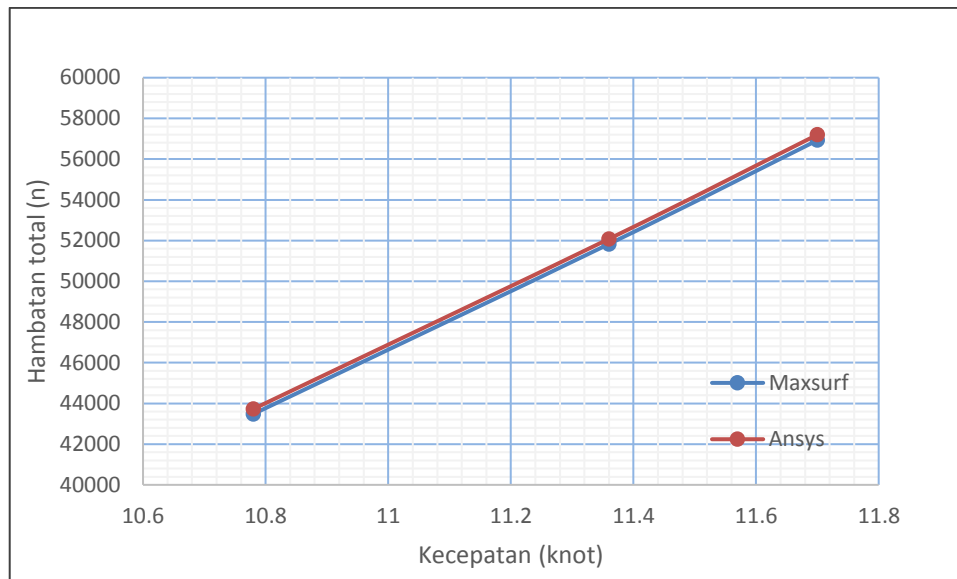
### V.3. Hasil Simulasi *Free Surface*

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan mnenggunakan dua *software* berbeda yaitu *Ansys-CFD* dan *Maxsurf Resistance* sehingga didapatkan masing-masing nilai hambatan total. Sehingga dapat dibandingkan hasil keduanya. Sama halnya dengan simulasi *Full Viscous*, pada simulasi *Free Surface* ini menggunakan tiga kecepatan saat mesin dalam kondisi *Service Continous Rating (SCR)* yaitu sebesar 10,78 knot; 11,36 knot; dan 11,7 knot. Hasil simulasi pada dua *software* tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 5. 3 Hasil simulasi hambatan total

Kecepatan (Knot)	Froude Number	Hambatan total		Selisih
		Maxsurf (N)	Ansys (N)	
10,78	0,238	43479,27	43727,4	0,567%
11,36	0,251	51828,73	52079,8	0,482%
11,7	0,259	56925,21	57199,5	0,480%





Gambar 5. 3 Kurva perbandingan hambatan total dengan kecepatan

Pada hasil diatas perbedaan nilai hambatan total pada kedua *software* relatif kecil berkisar pada kurang lebih 0,51%. Hasil pada *software Ansys-CFD* pada ketiga kecepatan mempunyai nilai yang sedikit lebih besar dari pada hasil dari *software Maxsurf*. Hal tersebut dikarenakan pada *Software Maxsurf* menggunakan dasar strip teory yaitu dengan rumus pendekatan. Pada *Software Ansys-CFD* menggunakan metode model panel sehingga simulasinya dapat lebih detail berdasarkan bentuk badan kapal.

Seperti yang ditunjukkan kurva diatas nilai hambatan total berbanding lurus dengan besar kecepatan baik pada *Software Maxsurf* maupun *Software Ansys-CFD*. Semakin besar kecepatan kapal maka akan semakin besar nilai hambatan totalnya. Hal ini dikarenakan tidak ada gaya angkat tambahan seiring dengan bertambahnya kecepatan kapal.

Nilai hambatan total yang telah didapatkan ini akan digunakan sebagai perhitungan untuk mencari daya mesin yang dibutuhkan sehingga mesin yang seharusnya digunakan tidak mempunyai daya yang berlebihan. Dalam hal ini dengan daya yang optimum maka dapat mengurangi emisi yang ditimbulkan oleh kapal.

#### V.4. Respon Kapal pada Gelombang *Regular*

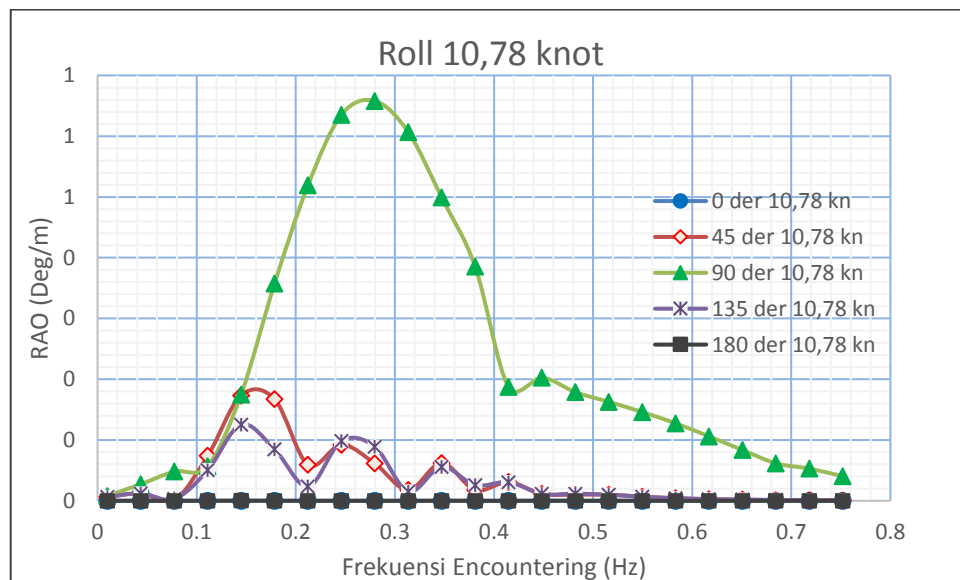
Setelah dilakukan simulasi terhadap model kapal dengan menggunakan software Ansys-AQWA, selanjutnya output awal yang akan didapat adalah *Response Amplitude Operators* (RAOs) pada 3 derajat kebebasan (*degree of freedom*) yaitu gerakan *rolling*, *pitching*, *heaving*. Secara sederhana , RAO merupakan respon yang diakibatkan oleh struktur pada gelombang regular. Pada perhitungan RAO ini, model kapal ini divariasikan menjadi 5 sudut yaitu 0°, 45°,

90°, 135°, dan 180°. Selain itu model ini juga divariasikan berdasarkan kecepatan *Service Continuous Rating* (SCR) kapal yaitu 10,78; 11,36; dan 11,7 knot.

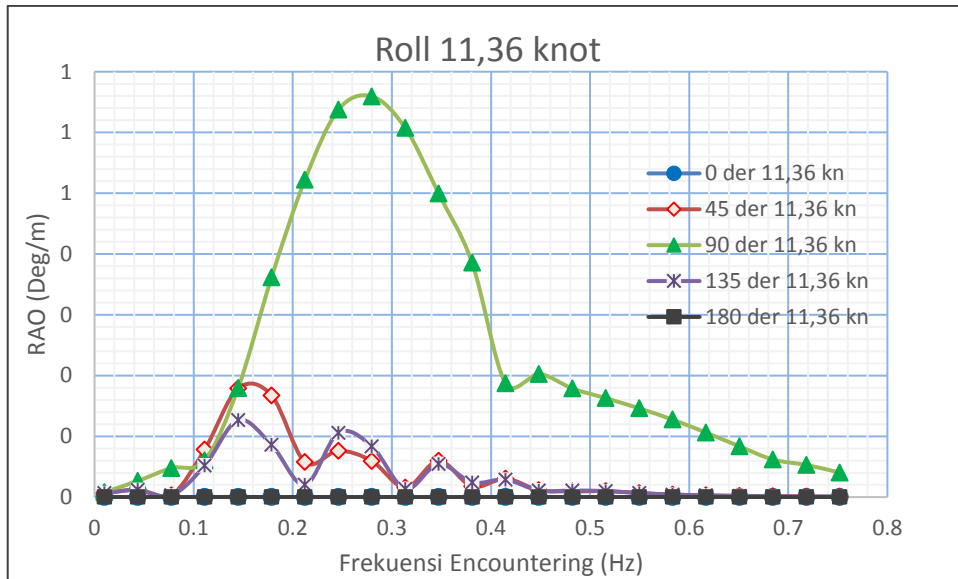
Nilai RAO tersebut selanjutnya akan dibuat kurva untuk mengetahui nilai respon dari masing-masing gerakan. Untuk sumbu pada kurva, absis mewakili frekuensi (rad/s) sedangkan untuk ordinatnya mewakili respon amplitudo dari pergerakan posisi dari masing-masing 3 derajat kebebasan. Untuk gerakan trasnsulasi (heave) menggunakan (m/m) untuk satuannya, sedangkan gerakan rotasi menggunakan satuan (°/m).

#### V.4.1. Hasil Kurva RAO Gerakan *Roll*

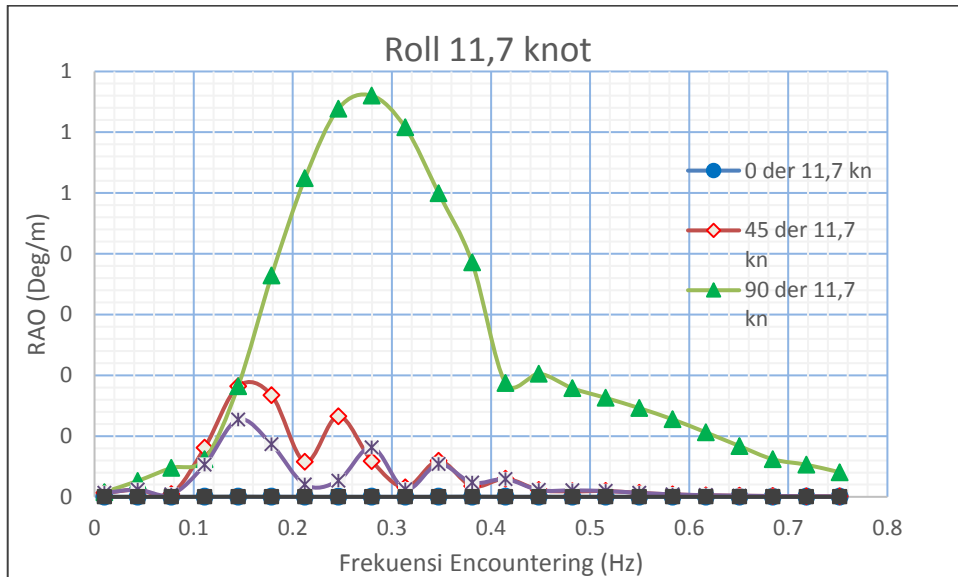
Kuva nilai RAO pada gerakan *Roll* sudut 0°, 45°, 90°, 135°, dan 180° dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 5. 4 Nilai RAO *Roll* sudut 0°, 45°, 90°, 135°, dan 180° pada kecepatan 10,78 knot



Gambar 5. 5 Nilai RAO *Roll* sudut 0°, 45°, 90°, 135°, dan 180° pada kecepatan 11,36 knot



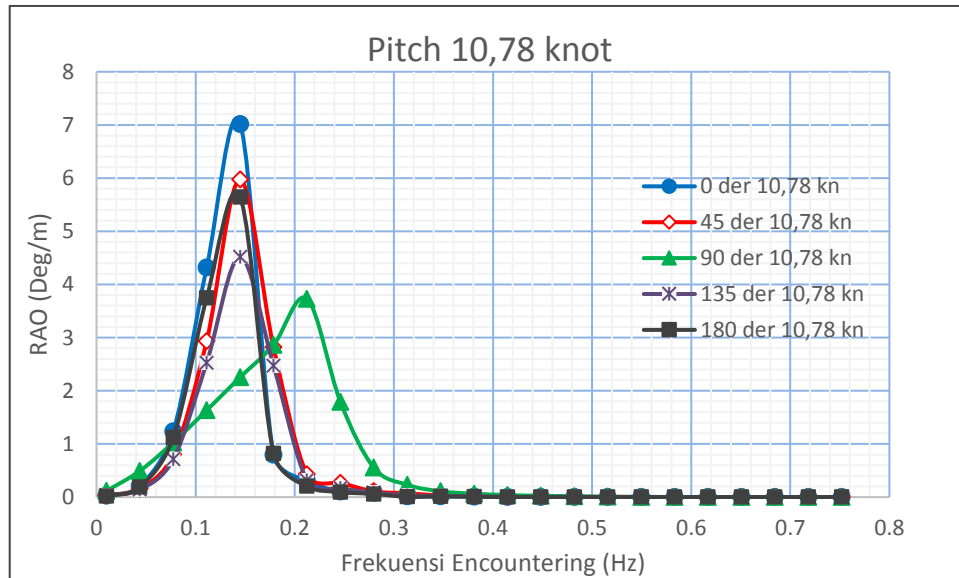
Gambar 5. 6 Nilai RAO *Roll* sudut 0°, 45°, 90°, 135°, dan 180° pada kecepatan 11,7 knot

Dari ketiga kurva diatas terlihat bahwa pada gerakan *roll*, nilai respon paling besar dihasilkan dari sudut 90° dibandingkan dengan dari keempat sudut lainnya. Pada sudut 45° dan 135° mempunyai nilai *respon roll* yang hampir sama begitu pula pada sudut 0° dan 180°. Pada sudut 0° dan 180° mendapatkan nilai *respon roll* yang paling kecil sehingga dapat diabaikan.

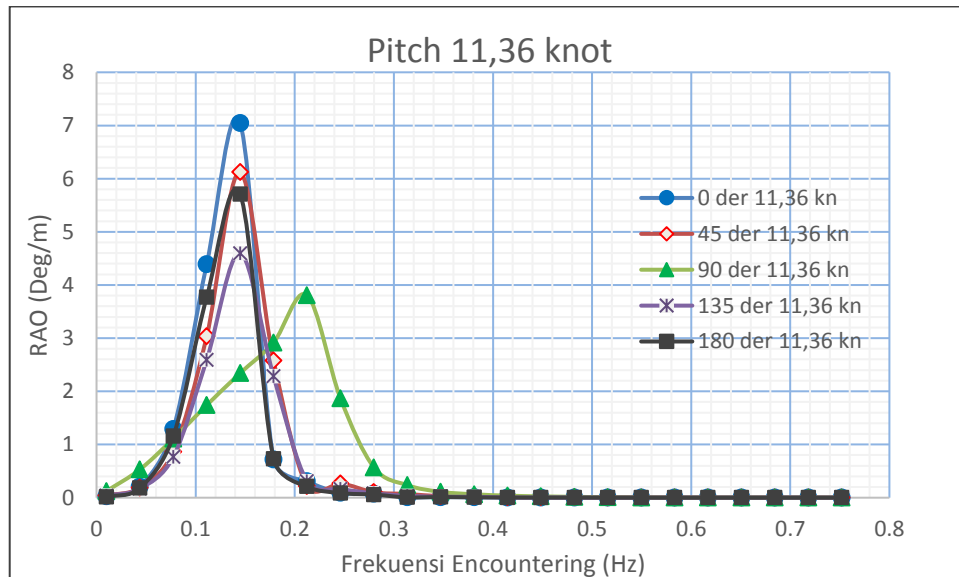
Pada kecepatan yang berbeda nilai respon terbesar didapatkan pada kecepatan 11,7 knot sudut 90 dengan nilai 23,268 Deg/m, respon tersebut terjadi pada frekuensi 0,145 Hz.

#### V.4.2. Hasil Kurva RAO Gerakan *Pitch*

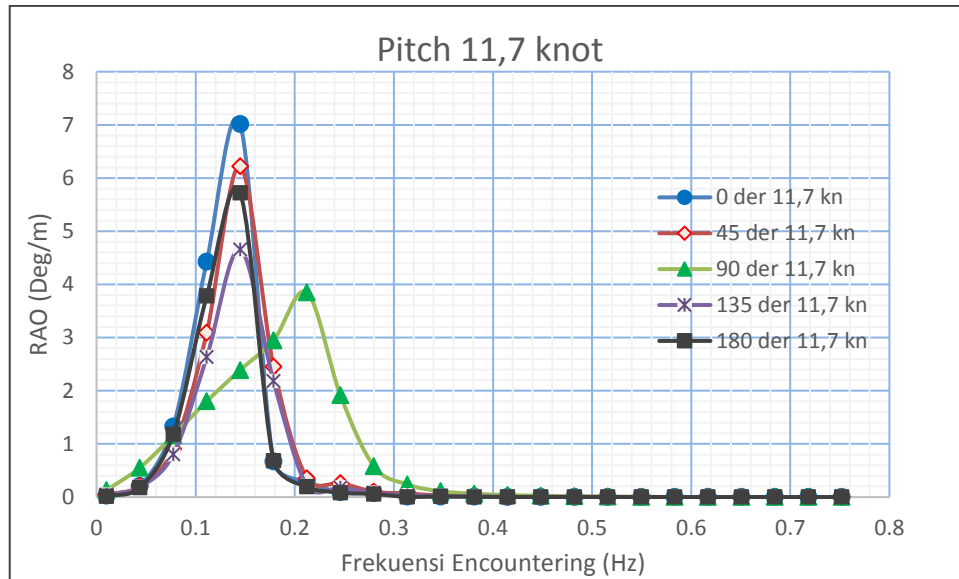
Kuwa nilai RAO pada gerakan *Pitch* sudut  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ , dan  $180^\circ$  dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 5. 7 Nilai RAO *Pitch* sudut  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ , dan  $180^\circ$  pada kecepatan 10,78 knot



Gambar 5. 8 Nilai RAO *Pitch* sudut  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ , dan  $180^\circ$  pada kecepatan 11,36 knot



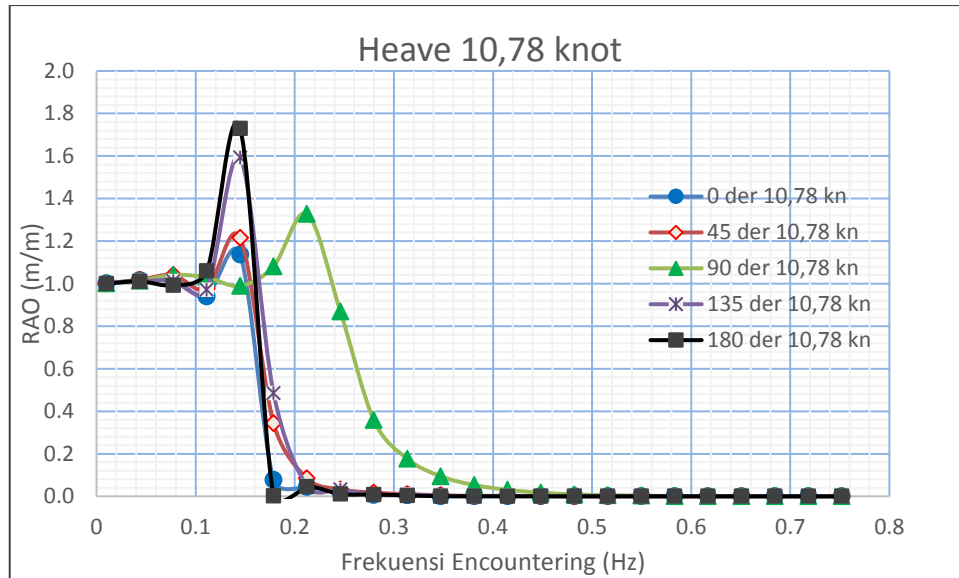
Gambar 5. 9 Nilai RAO *Pitch* sudut 0°, 45°, 90°, 135°, dan 180° pada kecepatan 11,7 knot

Dari ketiga kurva terlihat bahwa pada gerakan *Pitch* pada sudut 0° mendapatkan nilai respon yang paling tinggi dari keempat sudut lainnya. Pada frekuensi rendah RAO memiliki harga rendah, kemudian naik tajam pada daerah resonansi, dan menurun signifikan pada frekuensi tinggi. Dari kelima sudut, hampir semua nilai respon tertingginya berada di frekuensi 0,145 Hz, kecuali pada sudut 90° derajat dimana RAO tertinggi berada pada frekuensi 0,212 Hz. Selain itu nilai respon terendah terdapat pada sudut 180° pada frekuensi 0,68 Hz.

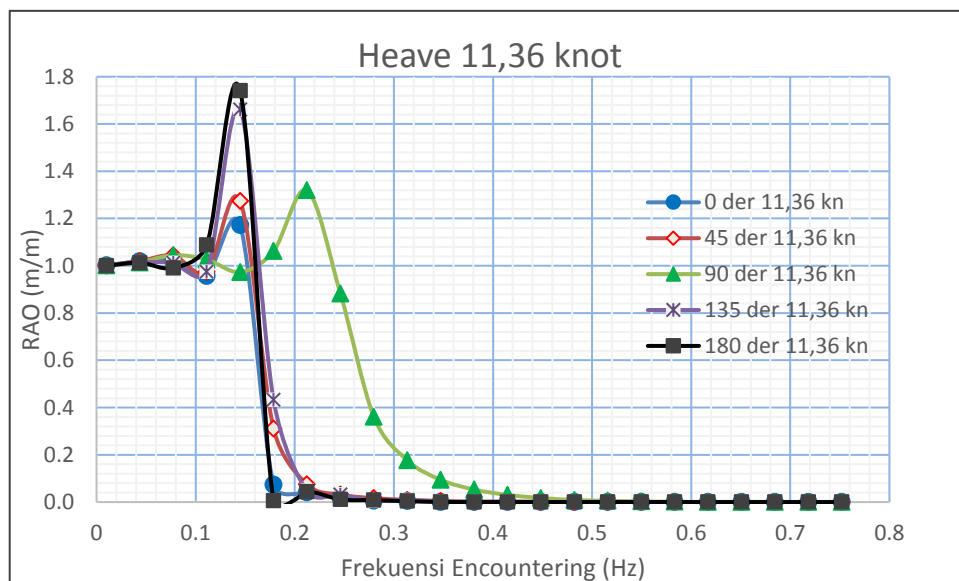
Pada kecepatan yang berbeda nilai RAO terbesar terdapat pada kecepatan 11,7 knot, dimana terjadi pada sudut 0° dengan nilai RAO sebesar 7,142 Deg/m pada frekuensi 0,145 Hz.

#### V.4.3. Hasil Kurva RAO Gerakan *Heave*

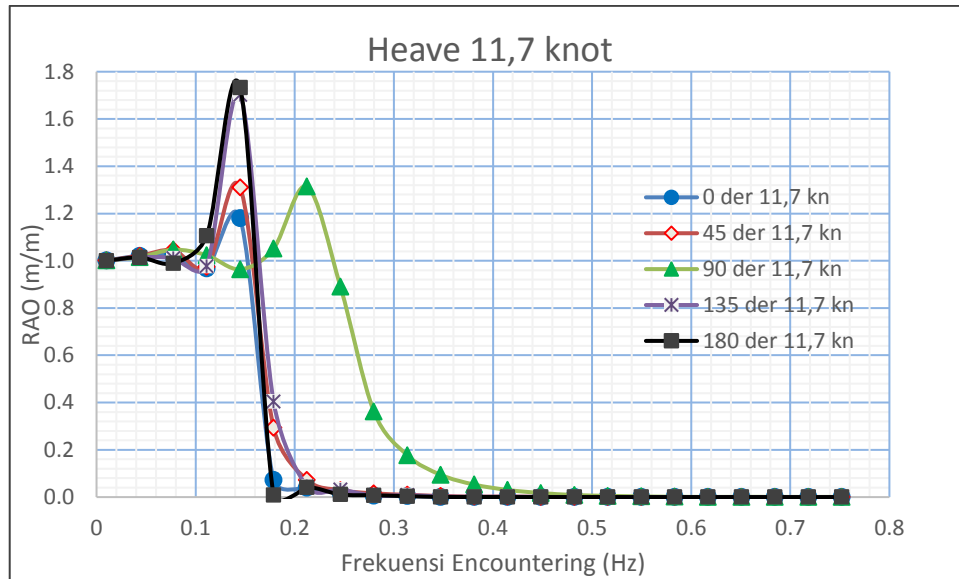
Kuwa nilai RAO pada gerakan *Heave* sudut  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ , dan  $180^\circ$  dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 5. 10 Nilai RAO *Heave* sudut  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ , dan  $180^\circ$  pada kecepatan 10,78 knot



Gambar 5. 11 Nilai RAO *Heave* sudut  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ , dan  $180^\circ$  pada kecepatan 11,36 knot



Gambar 5. 12 Nilai RAO *Heave* sudut  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ , dan  $180^\circ$  pada kecepatan 11,7 knot

Dari kurva terlihat bahwa pada gerakan *Heave*, untuk sudut  $0^\circ$  memiliki nilai respon yang paling tinggi dibandingkan keempat sudut hadap lainnya. Pada sudut  $135^\circ$  mempunyai nilai respon tidak terlalu jauh dari kurva pada sudut  $0^\circ$ . Pada daerah frekuensi rendah, gerakan *Heave* mempunyai nilai RAO sebesar 1,0 m/m dan meninggi pada frekuensi 0,144 Hz, kemudian bertahap turun sampai hampir  $0^\circ$  di frekuensi tertinggi.

Pada kecepatan yang berbeda nilai RAO terbesar terdapat pada kecepatan 11,7 knot, dimana terjadi pada sudut  $0^\circ$  dengan nilai RAO sebesar 1,72 m/m pada frekuensi 0,1499 Hz.

## V.5. Respon Kapal pada Gelombang *Irregular*

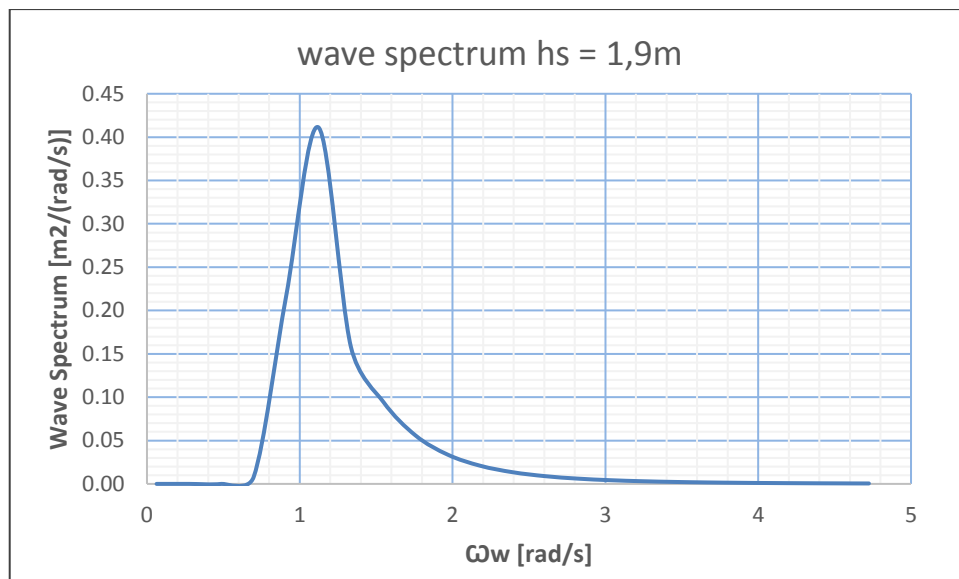
Selain pengujian pada gelombang *regular*, model kapal ini akan diuji dengan gelombang *irregular* (acak). Dalam merancang bangunan lepas pantai, desainer juga harus melihat periode gelombang dari perairan di mana bangunan laut akan beroperasi. (Djatkiko, 2012)

### V.5.1. Hasil Kurva Spectrum Gelombang

Pada penelitian ini, spectrum gelombang yang digunakan adalah *Spectrum Joint North Sea Project* atau biasa disingkat JONSWAP. Spektrum ini digunakan karena perairan Indonesia merupakan perairan kepulauan atau perairan tertutup yang mirip dengan Laut utara. Spektrum ini mempresentasikan laut yang dihasilkan angin dengan batasan *fetch*. Formula ini lebih umum dan lebih global dibandingkan dengan spektrum *Pierson Moskowitz* (Ahadyanti G. M., 2015).

Pada spektrum JONSWAP faktor yang mempengaruhi adalah  $\gamma$  (gamma), yaitu factor puncak tambahan (*peak enhancement*). Untuk perairan Indonesia nilai *gamma* sebesar 2,0-2,5. Penelitian menggunakan nilai *gamma* sebesar 2,25.

Hasil perhitungan dengan spektrum gelombang dengan ketinggian gelombang sebesar 1,9m yang didapatkan dari data gelombang BMKG Surabaya. Hasil dari perhitungan spectrum gelombang yaitu sebagai berikut.



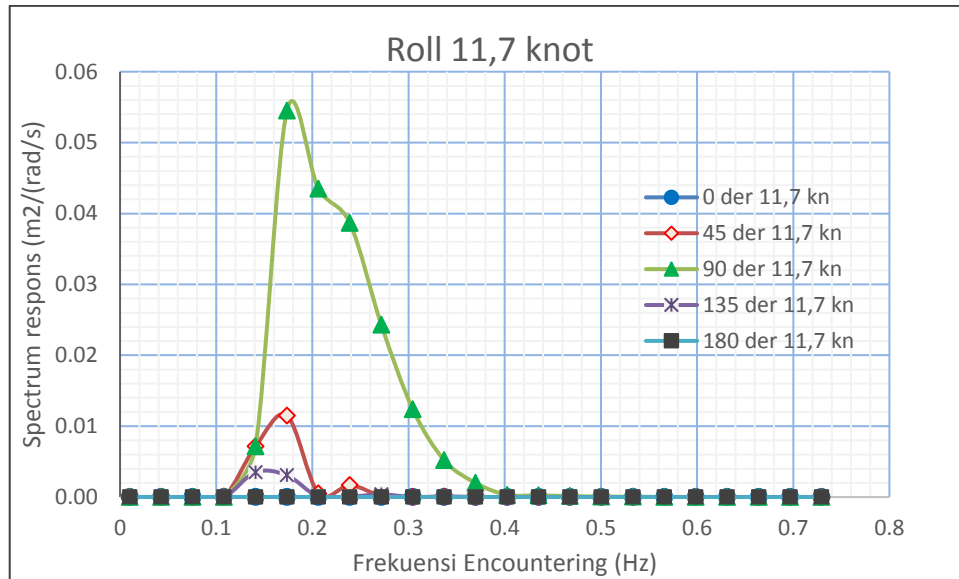
Gambar 5. 13 *Wave spectrum* pada pola gelombang JONSWAP

Kurva pada gambar 5.13 menunjukkan wave spektrum pada ketinggian gelombang 1,9m. Puncak kurva spektrum gelombang sebesar  $0,411 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$  pada frekuensi 1,122 rad/s.

### V.5.2. Hasil Kurva Respon Spektrum

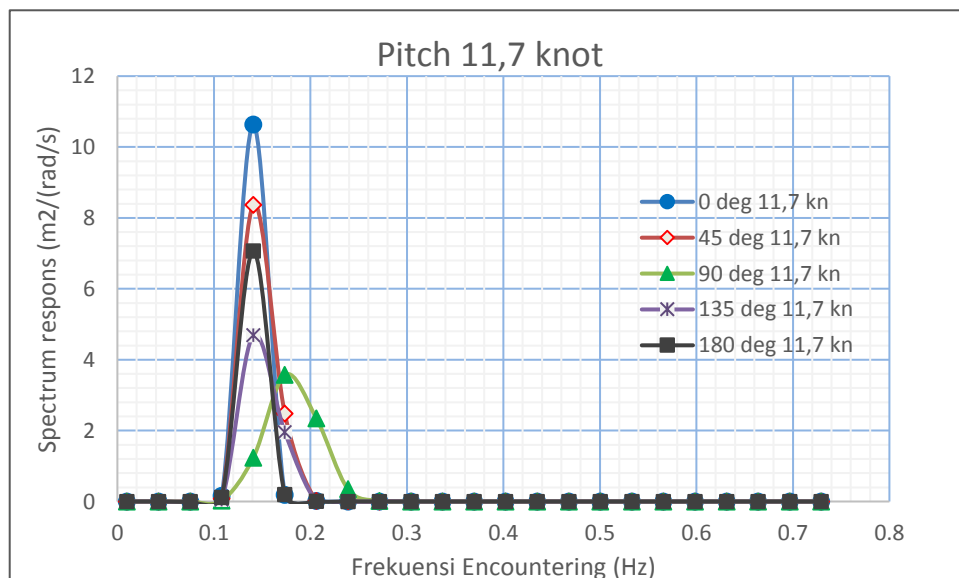
Perhitungan respon spektrum ini dilakukan dengan mengalikan harga *Respons Amplitude Operators* (RAOs) kuadrat dengan persamaan spektrum gelombang yang sebelumnya telah dihitung. Perhitungan respon spektrum ini dilakukan pada *heading angle*  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ , dan  $180^\circ$  serta pada tiga kecepatan yang berbeda yaitu 10,78knot; 11,36 knot; dan 11,7 knot. Dengan perhitungan yang dijelaskan pada Lampiran E, maka didapatkan kurva respon spektrum seperti berikut:





Gambar 5. 14 Respon Spektrum gerakan *Roll* kecepatan 10,78 knot

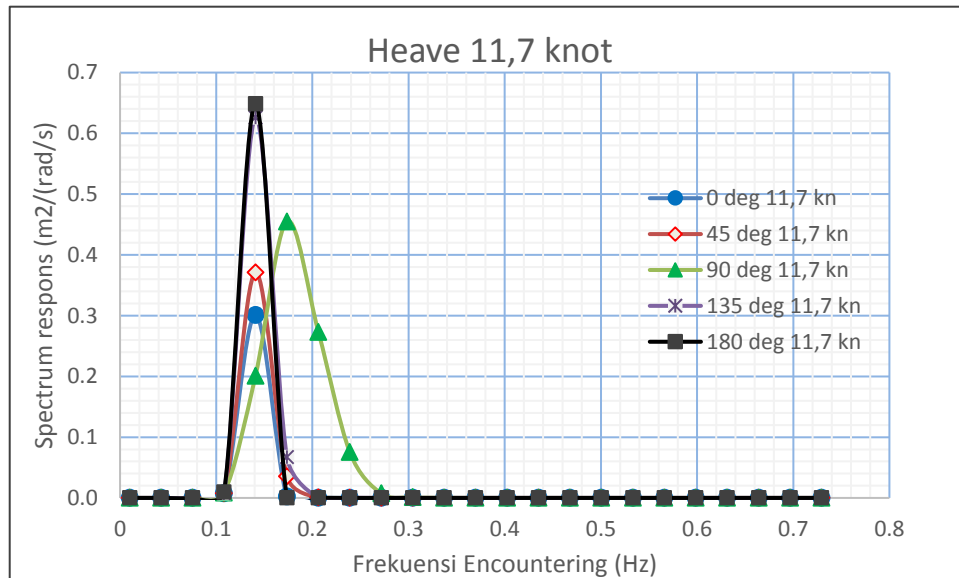
Gambar 5. 14 menunjukkan kurva dari respon spectrum gerakan *Roll* pada kecepatan tertinggi yaitu 11,7 knot. Kurva tersebut dihitung dari kenaikan frekuensi mulai dari 0,01 Hz sampai dengan 0,73 Hz. Pada ketiga kecepatan yang berbeda yaitu 10,78 knot; 11,36 knot; dan 11,7 knot nilai tertinggi dari respon spektrum didominasi pada kecepatan 11,7 knot. Pada gerakan *Roll*, nilai respon spektrum maksimal terjadi pada heading angle 90° dengan nilai maksimal 0,054 m<sup>2</sup>/(rad/s).



Gambar 5. 15 Respon Spektrum gerakan *Pitch* kecepatan 10,78 knot

Gambar 5. 15 menunjukkan kurva dari respon spectrum gerakan *Pitch* pada kecepatan tertinggi yaitu 11,7 knot. Kurva tersebut dihitung dari kenaikan frekuensi mulai dari 0,01 Hz

sampai dengan 0,73 Hz. Pada ketiga kecepatan yang berbeda yaitu 10,78 knot; 11,36 knot; dan 11,7 knot nilai tertinggi dari respon spektrum didominasi pada kecepatan 11,7 knot. Pada gerakan *Pitch*, nilai respon spektrum maksimal terjadi pada heading angle 0° dengan nilai maksimal 10,6 m<sup>2</sup>/(rad/s).



Gambar 5. 16 Respon Spektrum gerakan *Heave* kecepatan 10,78 knot

Gambar 5. 16 menunjukkan kurva dari respon spektrum gerakan *Heave* pada kecepatan tertinggi yaitu 11,7 knot. Kurva tersebut dihitung dari kenaikan frekuensi mulai dari 0,01 Hz sampai dengan 0,73 Hz. Pada ketiga kecepatan yang berbeda yaitu 10,78 knot; 11,36 knot; dan 11,7 knot nilai tertinggi dari respon spektrum didominasi pada kecepatan 11,7 knot. Pada gerakan *Pitch*, nilai respon spektrum maksimal terjadi pada heading angle 180° dengan nilai maksimal 0,65 m<sup>2</sup>/(rad/s).

Kurva respon spektrum *Roll*, *Pitch*, dan *Heave* pada kecepatan 10,78 knot dan 11,36 knot ditampilkan pada Lampiran E dikarenakan bentuk dari kurva tidak berbeda dan perbedaan terdapat pada nilai spektrum respon yang tidak terlalu besar.

### V.5.3. Hasil Amplitudo Signifikan

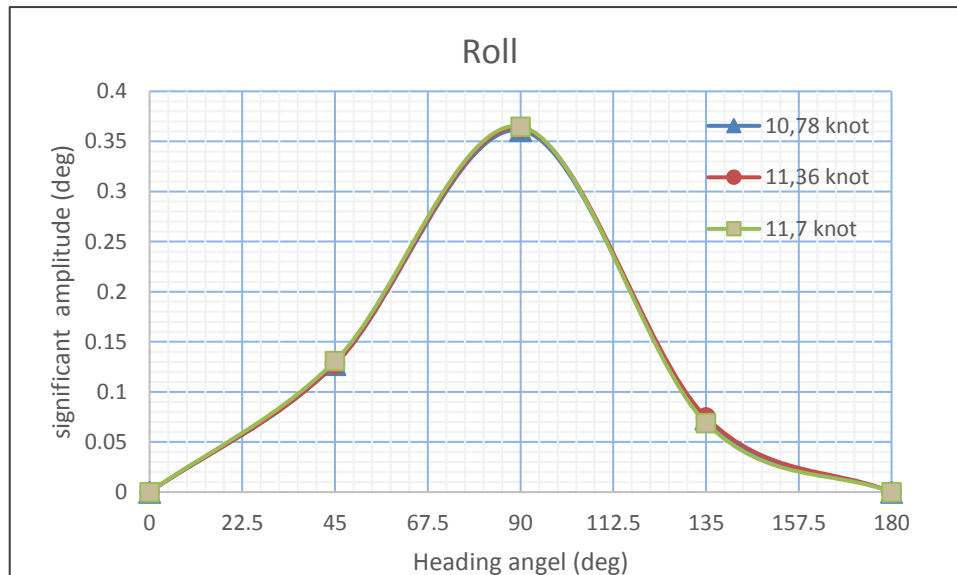
Setelah didapatkannya kurva wave *spectrum*, selanjutnya dilakukan perhitungan mencari respon spektrum pada ketiga kecepatan dan *heading angle* yang berbeda. Hasil dari perhitungan dan kurva respon spektrum dijelaskan pada Lampiran E. Setelah didapatkan respon spectrum maka akan diketahui besar *Significant Amplitude*.

Dari kurva respon spektrum kemudian dapat dihitung luasan di bawah kurva respon spectrum, momen pertama luasan dibawah kurva respon spectrum ( $m_0$ ), momen kedua luasan

dibawah kurva respon spektrum ( $m_2$ ), dan momen keempat luasan dibawah kurva respon spektrum ( $m_4$ ). Dengan diperolehnya luasan dan sejumlah momen respon spektrum kemudian dapat dihitung harga-harga stokastik periode dan frekuensi serta amplitudo spesifik dari gerakan kapal tersebut. Perhitungan amplitude significant dijelaskan pada Lampiran F. Hasil perhitungan *amplitude significant* pada *rolling* mendapatkan nilai sebagai berikut.

Tabel 5. 4 *Amplitude of the significant rolling motion*

heading	significant amplitude (deg)		
	10,78 knot	11,36 knot	11,7 knot
0	0,00003	0,00003	0,00003
45	0,127	0,128	0,131
90	0,361	0,364	0,365
135	0,073	0,075	0,069
180	0,0001	0,0001	0,0001



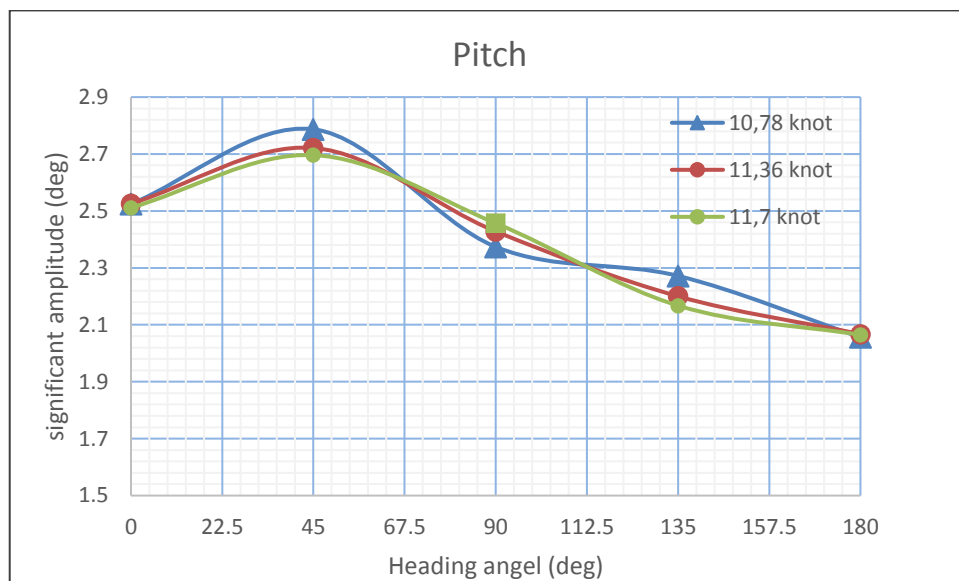
Gambar 5. 17 *Amplitude of the significant rolling motion*

Pada hasil perhitungan *Amplitudo significant* pada *rolling motion* didapatkan nilai tertinggi terdapat pada *heading angle* 90°. Pada *heading angle* tersebut didapatkan nilai *rolling* pada kecepatan tertinggi (11,7 knot) sebesar 0,365°. Sedangkan amplitudo signifikan terendah terdapat pada *heading angle* 0° dengan nilai 0,00003°. Pada *heading angle* 0° dan 180° mendapatkan nilai yang hampir sama.

Hasil dari perhitungan *amplitude significant* gerakan *pitching* pada 5 *heading angle* dijelaskan sebagai berikut.

Tabel 5. 5 Amplitude of the significant pitching motion

heading	significant amplitude (deg)		
	10,78 knot	11,36 knot	11,7 knot
0	2,524478	2,525691	2,511456
45	2,786997	2,721366	2,696264
90	2,373837	2,428108	2,456883
135	2,271866	2,200193	2,167409
180	2,056407	2,067326	2,064667



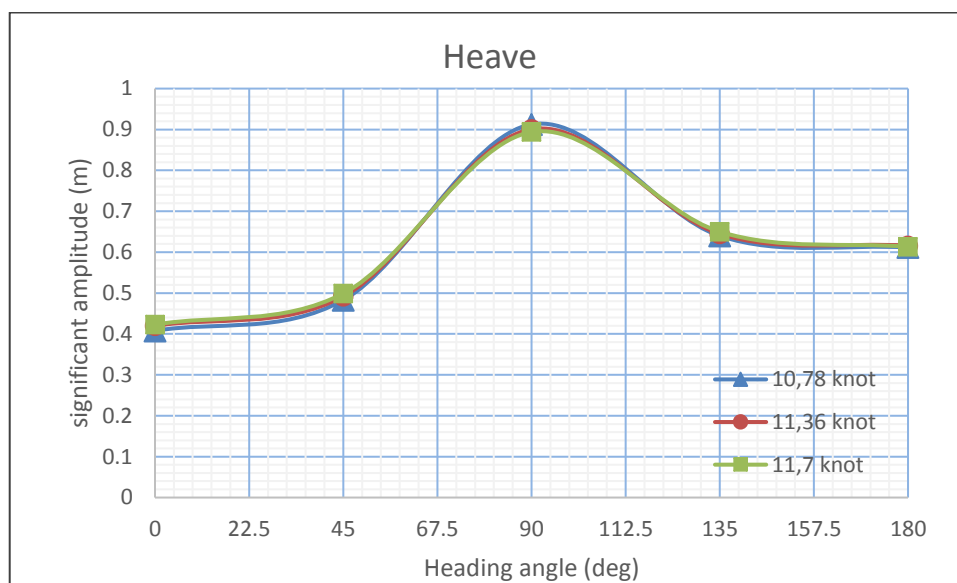
Gambar 5. 18 Amplitude of the significant pitching motion

Pada hasil perhitungan *Amplitudo significant* pada *pitching motion* didapatkan nilai tertinggi terdapat pada *heading angle* 45°. Pada *heading angle* tersebut didapatkan nilai *pitching* pada kecepatan 10,78 sebesar 2,79°. Sedangkan amplitudo signifikan terendah terdapat pada heading angle 180° dengan nilai 2,056°. gelombang pada *heading angle following seas* (0° dan 45°) mendapatkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dari arah *beam seas* (90°) dan *head seas* (135° dan 180°) mendapatkan significant amplitude yang paling rendah pada gerakan pitching.

Hasil dari perhitungan *amplitude significant* gerakan *heaving* pada 5 *heading angle* dijelaskan sebagai berikut.

Tabel 5. 6 Amplitude of the significant heaving motion

heading	significant amplitude (m)		
	10,78 knot	11,36 knot	11,7 knot
0	0,407777	0,419794	0,422906
45	0,482763	0,491753	0,498821
90	0,912525	0,900700	0,893895
135	0,639753	0,644608	0,649993
180	0,611341	0,615865	0,613019



Gambar 5. 19 Amplitude of the significant heaving motion

Pada hasil perhitungan *Amplitudo significant* pada *rolling motion* didapatkan nilai tertinggi terdapat pada *heading angle* 90°. Pada *heading angle* tersebut didapatkan nilai *rolling* pada kecepatan 10,78 knot sebesar 0,9125m. Sedangkan amplitudo signifikan terendah terdapat pada *heading angle* 0° dengan nilai 0,41m. Pada *heading angle* 0° dan 45° mendapatkan nilai yang hampir sama, selain itu pada *heading angle* 135 dan 180 juga mendapatkan nilai yang hampir sama pada tiga kecepatan yang berbeda.

#### V.5.4. Perpindahan dan Rotasi Model Kapal

Berikut merupakan hasil analisis perpindahan baik translasi maupun rotasi kapal pada gelombang irregular. Analisis pada Tabel 5.4 ditinjau pada tiap-tiap arah pembebanan. Nilai maksimum dan minimum dalam table menunjukkan arah gerakan positif dan negative pada model kapal.

Tabel 5. 7 Perpindahan dan rotasi kapal pada sudut 0°, 45°, 90°, 135°, dan 180°.

Sudut	Gerakan		10,78 Knot		11,36 Knot		11,7 Knot	
			Max	Min	Max	Min	Max	Min
0	Rotation	Roll-Rx (deg)	0,01	-0,01	0,01	-0,01	0,01	-0,01
		Pitch-Ry (deg)	6,04	-6,13	6,27	-6,31	6,43	-6,33
	Distance	Heave-Z (m)	1,58	-1,56	1,81	1,78	1,82	-1,77
45	Rotation	Roll-Rx (deg)	9,51	-9,50	10,30	-9,58	10,88	-10,61
		Pitch-Ry (deg)	3,81	-3,96	4,32	-4,86	4,06	5,49
	Distance	Heave-Z (m)	1,38	-1,31	1,46	-1,41	1,49	-1,45
90	Rotation	Roll-Rx (deg)	15,98	-14,80	16,88	-16,24	16,85	-17,68
		Pitch-Ry (deg)	4,47	-4,02	5,12	-4,32	4,60	-5,60
	Distance	Heave-Z (m)	1,24	-1,22	1,25	-1,41	1,42	-1,38
135	Rotation	Roll-Rx (deg)	11,52	-11,49	11,75	-11,72	11,93	-11,90
		Pitch-Ry (deg)	3,27	-3,64	3,15	-4,32	3,42	-5,33
	Distance	Heave-Z (m)	1,63	-1,71	1,74	-1,74	1,75	-1,75
180	Rotation	Roll-Rx (deg)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	-0,01
		Pitch-Ry (deg)	4,96	-5,17	5,28	-5,48	5,45	-5,40
	Distance	Heave-Z (m)	1,637	-1,683	1,908	-1,909	1,934	-1,923

Tabel diatas menunjukkan gerakan baik rotasi (deg) maupun perpindahan (m) kapal karena pengaruh dari RAO pada sudut 0, 45, 90, 135, dan 180. Selain itu berdasarkan pertambahan kecepatan, maka gerakan model semakin besar. Dimana gerakan maksimum sebagian besar berada pada kecepatan tertinggi yaitu 11,7 knot.

#### V.5.5. Kriteria Kenyamanan Model Dok Apung

Sesuai dengan teori yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa gerakan struktur secara vertikal dan lateral memberikan ukuran kenyamanan pada struktur apung. Seperti halnya GL Noble Denton memberikan beberapa tingkat untuk penilaian kenyamanan suatu struktur apung. penilaian kenyamanan tersebut mempunyai batas sebagai acuan, sehingga jika besar nilai rotasi atau perpindahan dibawah batas maka dapat dikatakan sturktur apung kapal masih dapat dikatakan masih dalam batas nyaman. (GL Nobel Denton, 2010)

Tabel 5. 8 Batas kriteria kenyamanan

batasan kriteria		
structure position	Roll-Rx (deg)	30
	Pitch-Ry (deg)	15
Structure axceleration	Heave-Z (m)	1,962

Setelah didapat hasil dari respon kapal terhadap RAO diatas, maka dapat dicari time response dari software Ansys-AQWA yang hasilnya dapat dibandingkan dengan batasan kriteria. Hasil dari time response didapatkan hasil seperti berikut.

Tabel 5. 9 Hasil respon terhadap batasan kriteria

Sudut	Gerakan		10,78 knot		11,36 knot		11,7 knot	
			Nilai Max	Ket	Nilai Max	Ket	Nilai Max	Ket
0	Rotation	Roll-Rx (deg)	0,01	OK	0,01	OK	0,01	OK
		Pitch-Ry (deg)	6,13	OK	6,31	OK	6,43	OK
	Distance	Heave-Z (m)	1,58	OK	1,81	OK	1,82	OK
45	Rotation	Roll-Rx (deg)	9,51	OK	10,30	OK	10,88	OK
		Pitch-Ry (deg)	3,96	OK	4,86	OK	5,49	OK
	Distance	Heave-Z (m)	1,38	OK	1,46	OK	1,49	OK
90	Rotation	Roll-Rx (deg)	15,98	OK	16,88	OK	17,68	OK
		Pitch-Ry (deg)	4,47	OK	5,12	OK	5,60	OK
	Distance	Heave-Z (m)	1,24	OK	1,41	OK	1,42	OK
135	Rotation	Roll-Rx (deg)	11,52	OK	11,75	OK	11,93	OK
		Pitch-Ry (deg)	3,64	OK	4,32	OK	5,33	OK
	Distance	Heave-Z (m)	1,71	OK	1,74	OK	1,75	OK
180	Rotation	Roll-Rx (deg)	0,004	OK	0,004	OK	0,006	OK
		Pitch-Ry (deg)	5,17	OK	5,48	OK	5,45	OK
	Distance	Heave-Z (m)	1,68	OK	1,91	OK	1,93	OK

Tabel diatas menunjukkan perbandingan hasil respon pada batasan kriteria. Pada setiap arah sudut nilai tertinggi dari masing-masing respon baik pada gerakan rotasi maupun translasi terdapat pada kecepatan 11,7 knot yaitu kecepatan terbesar. Pada kelima sudut yaitu 0°, 45°, 90°, 135°, dan 180°, memenuhi batas kriteria pada kecepatan terendah maupun tertinggi.

Nilai respon kapal terhadap RAO pada gerakan *Rolling* terbesar terjadi pada kecepatan 11,7 knot, dengan rotasi maksimum 17,68 derajat pada sudut pembebanan 90 derajat. *Pitching* terbesar terjadi pada kecepatan 11,7 knot, dengan rotasi maksimum 6,43 derajat pada sudut

pembebanan 0 derajat. *Heaving* terbesar terjadi pada kecepatan 11,7 knot, dengan jarak perpindahan maksimum 1,93 m pada sudut pembebanan 180 derajat.

Kriteria performa seakeeping pada dasarnya mengindikasikan kenyamanan dan keselamatan kinerja ABK di dalam kapal, misalnya kinerja ABK berkegiatan pada deck dalam kondisi miring berisiko ABK mengalami mabuk laut (*motion sickness*). Sehingga apabila kapal dikondisikan agar gerakan translasi dan rotasi yang lebih kecil dapat meminimalisir mabuk laut pada ABK.

## V.6. Hasil Perhitungan Emisi Gas Buang

Pada perhitungan gas buang yaitu mencari besar nilai EEDI (CO<sub>2</sub>) dan *Nitrogen Oxida* (NO<sub>x</sub>) pada Tugas Akhir ini menggunakan variasi besar kecepatan dan *engine margin*. Sehingga didapatkan 6 variasi beban mesin untuk mengetahui besar emisi dari masing-masing variasi tersebut.

Tabel 5. 10 Variasi kecepatan berdasarkan beban mesin

Variasi	Kecepatan SCR (knot)	Engine margin	
		MCR	SCR
1	11,7	10%	90%
2	11,7	5%	95%
3	11,36	10%	90%
4	11,36	5%	95%
5	10,78	10%	90%
6	10,78	5%	95%

### V.6.1. Perhitungan EEDI (CO<sub>2</sub>)

Besar nilai CO<sub>2</sub> dihitung menggunakan rumus yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya dijelaskan pada Lampiran D. Hasil dari perhitungan EEDI (CO<sub>2</sub>) untuk *existing engine* sebagai berikut.

Tabel 5. 11 Hasil perhitungan EEDI *existing engine*

variasi	Total waktu tempuh (jam)	waiting time (jam)	Waiting time (menit)	SFC (g/kw)	Total EEDI (gm CO <sub>2</sub> /ton)	EEDI (gm CO <sub>2</sub> /ton mil)	Penurunan %
1	37,3	3,100	186,0	5867,155	17138,962	39,220	0,00%
2	37,3	3,053	183,2	5861,293	17099,558	39,129	0,23%
3	38,3	2,094	125,6	5724,831	16290,083	37,277	4,95%
4	38,4	1,991	119,5	5711,062	16203,519	37,079	5,46%
5	40,1	0,231	13,9	5442,356	14791,577	33,848	13,70%
6	40,3	0,025	1,5	5412,894	14621,763	33,459	14,69%



Dari hasil perhitungan EEDI (CO<sub>2</sub>) *existing engine* diatas, didapatkan nilai CO<sub>2</sub> terkecil pada variasi beban mesin ke-6 yaitu sebesar 33,459 gm CO<sub>2</sub>/ton mille. Variasi ini menggunakan kecepatan paling rendah yaitu 10,78 knot, dan kondisi MCR sebesar 5%. Penurunan emisi CO<sub>2</sub> dari variasi kecepatan ini sebesar 14,69% dibanding dengan saat menggunakan kecepatan dinas.

Besar konsumsi bahan bakar yang digunakan pada variasi beban mesin ke-6 lebih kecil yaitu dengan total 5412,894 g/Kw dibandingkan dengan pada kecepatan dinas yaitu sebesar 5867,155 g/Kwh meskipun total waktu tempuh pada variasi 6 lebih lama dibandingkan dengan kecepatan dinas. (Molland, Turnock, Hudson, & Utama, 2012)

Pada perhitungan EEDI (CO<sub>2</sub>) dengan mesin baru/ *repowering* didapatkan dari perhitungan BHP dengan menggunakan hambatan yang telah didapatkan yang dijelaskan pada Lampiran C. Setelah BHP baru didapatkan maka memilih mesin yang mempunyai BHP yang sama atau sedikit lebih besar.

Tabel 5. 12 Spesifikasi mesin untuk *repowering*

Nama		DAIHATSU DIESEL
Type		6DEM-23 (750)
Clynder (mm)		6
RPM		750
Cly bore (mm)		230
Piston stroke (mm)		320
Output kW	FO	1200
	HFO	1200
Dry mass (t)		14

Mesin tersebut dipilih dikarenakan menggunakan putaran mesin yang sama yaitu 750. Hal tersebut mempresentasikan performa mesin yang tidak jauh berbeda seperti mesin sebelumnya, tetapi mempunyai BHP yang lebih rendah. Perbandingan BHP dan konsumsi bahan bakar antara kedua mesin tersebut yaitu sebagai berikut.

Tabel 5. 13 Perbandingan SFC *existing engine* dan *repowering*

Engine margin	Kec	<i>Existing engine</i>			<i>Repowering engine</i>			
		RPM	SFC (Ton/h)	BHP (kW)	RPM	SFC (Ton/h)	SFC (gr/h)	Bhp (kW)
MCR	12	750	0,224	1368	750	0,197	196811,145	1200
SCR 100%	11,7	731	0,209	1334	731	0,183	183421,052	1170
SCR 90%	11,36	724	0,192	1295	724	0,168	168245,614	1136
SCR 75%	10,78	681	0,163	1229	681	0,143	143157,894	1078

Perhitungan emisi Energy Efficiency Design Index (EEDI) dijelaskan pada Lampiran D. Sehingga didapatkan hasil besar emisi EEDI repowering sebagai berikut.

Tabel 5. 14 Hasil perhitungan EEDI *repowering engine*

variasi	Total waktu tempuh (jam)	waiting time (jam)	Waiting time (menit)	SFC (g/kwh)	Total EEDI (gm CO <sub>2</sub> /ton)	EEDI (gm CO <sub>2</sub> /ton mil)	Penurunan %
1	37,3	3,100	186,0	5867,155	15034,177	34,403	0,00%
2	37,3	3,053	183,2	5861,293	14999,612	34,324	0,23%
3	38,3	2,094	125,6	5724,831	14289,547	32,699	4,95%
4	38,4	1,991	119,5	5711,062	14213,613	32,525	5,46%
5	40,1	0,231	13,9	5442,356	12975,068	29,691	13,70%
6	40,3	0,025	1,5	5412,894	12826,108	29,350	14,69%

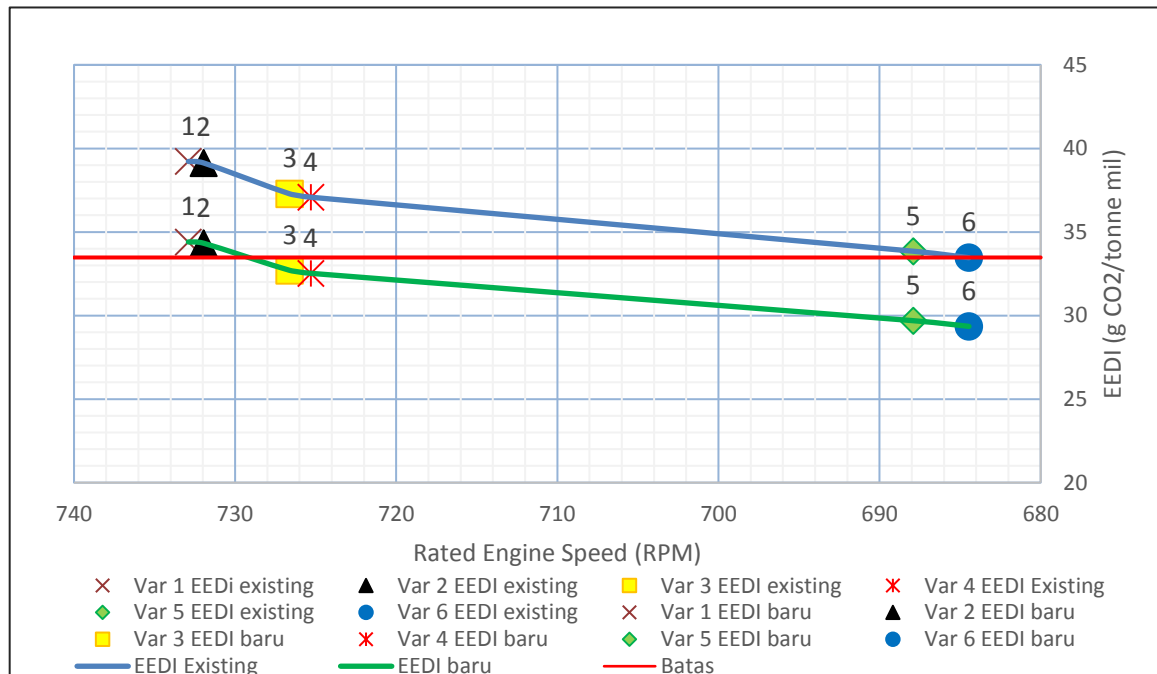
Perhitungan nilai EEDI dengan kondisi BHP baru mendapatkan emisi EEDI terendah sebesar 29,35 gmCO<sub>2</sub>/ton.mille pada variasi beban mesin ke-6. Variasi ini menggunakan kecepatan paling rendah yaitu 10,78 knot, dan kondisi MCR sebesar 5%. Penurunan emisi CO<sub>2</sub> dari variasi kecepatan ini sebesar 14,69% dibandingkan dengan saat menggunakan kecepatan dinas.

Dengan menggunakan variasi beban mesin ke-6, waktu menunggu kapal masuk pelabuhan menjadi lebih kecil dengan menyisakan kurang lebih 1,5 menit dari pada pada kondisi sebelumnya yaitu 3,1 jam. Pada model BHP baru ini nilai EEDI dibandingkan dengan nilai EEDI dari *existing engine* dengan hasil sebagai berikut.

Tabel 5. 15 Perbandingan nilai EEDI

Variasi	RPM	EEDI existing engine (gm CO <sub>2</sub> /ton mil)	EEDI repowering (gm CO <sub>2</sub> /ton mil)	Selisih
1	733	39,220	34,403	12,3%
2	732	39,129	34,324	12,3%
3	727	37,277	32,699	12,3%
4	725	37,079	32,525	12,3%
5	688	33,848	29,691	12,3%
6	684	33,459	29,350	12,3%

Tabel diatas menunjukkan selisih perbedaan antara nilai emisi EEDI *existing engine* dan EEDI *repowering*. Selisih nilai EEDI pada setiap variasi sebesar 12,3% dimana EEDI repowering mendapatkan nilai yang lebih kecil.



Gambar 5. 20 Emisi EEDI berdasarkan *engine margin* (RPM)

Dari kurva diatas dapat dilihat bahwa dari keenam variasi EEDI baru mendapatkan nilai lebih rendah dari EEDI *existing*. Dimana EEDI baru semua variasinya terdapat dibawah batas EEDI yang dianjurkan oleh IMO. Pada mesin *existing*, EEDI terendah didapatkan oleh variasi beban mesin ke-6 dengan besar emisi 33,459 grCO<sub>2</sub>/ton.mil. Pada *repowering engine*, EEDI terendah didapatkan oleh variasi beban mesin ke-6 dengan besar emisi 29,35 grCO<sub>2</sub>/ton.mil.

Pada variasi beban mesin ke-6 *existing engine* mendapatkan nilai mendekati dari batas yang dianjurkan oleh IMO. Sehingga jika mesin lama tetap digunakan, variasi beban mesin ke-6 ini bisa menjadi pilihan. Batas emisi yang dianjurkan oleh IMO pada regulasi 21 ini pada kurva diatas digambarkan hanya garis mendatar sebesar 33,47 grCO<sub>2</sub>/ton.mil meskipun mempunyai *engine margin* yang berbeda. Hal tersebut dikarenakan perhitungan dari batas tersebut hanya mempunyai pengaruh dari berat muatan, tidak ada pengaruh dari bahan bakar, kecepatan, atau *engine margin*.

Pada *repowering engine* terdapat 4 variasi beban mesin yang berada dibawah batas yang dianjurkan IMO. Nilai emisi EEDI terendah yang didapatkan yaitu variasi beban mesin ke-6 mempunyai selisih tertinggi dari batas IMO yaitu sebesar 14,05%.

### V.6.2. Perhitungan Nitrogen Oksida (NOx)

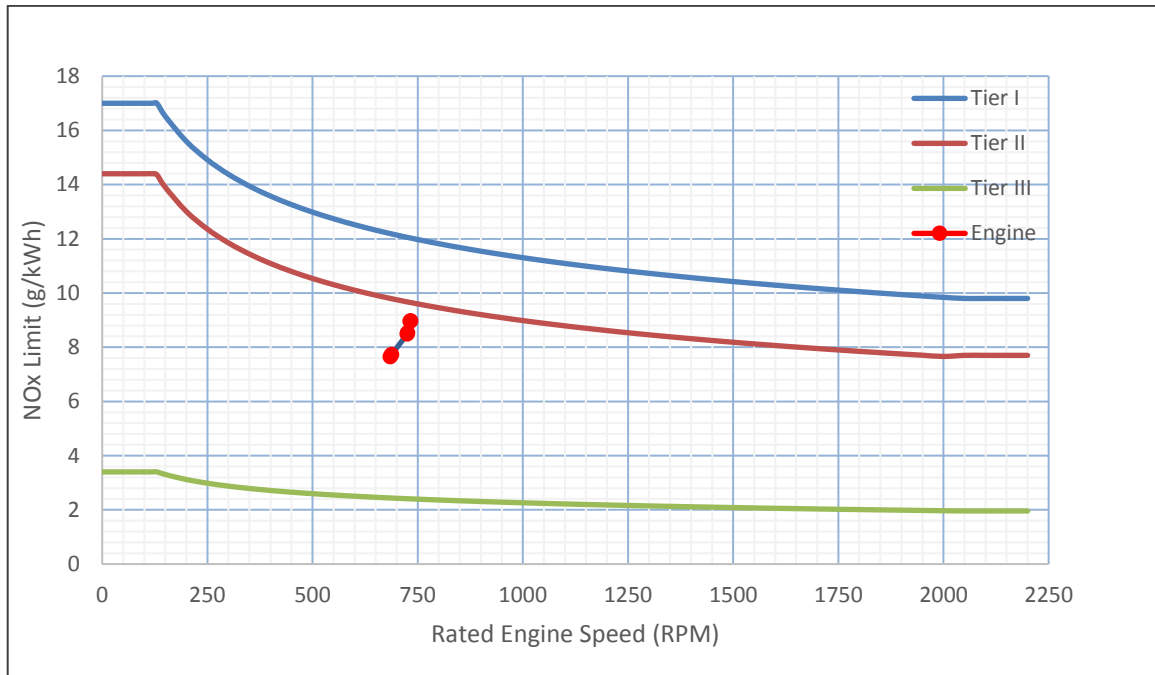
Perhitungan emisi *Nitrogen oxida* (NOx) dengan rumus dijelaskan pada Lampiran D. Hasil emisi *Nitrogen oxida* (NOx) didapatkan hasil seperti berikut.

Tabel 5. 16 Hasil Perhitungan emisi NOx

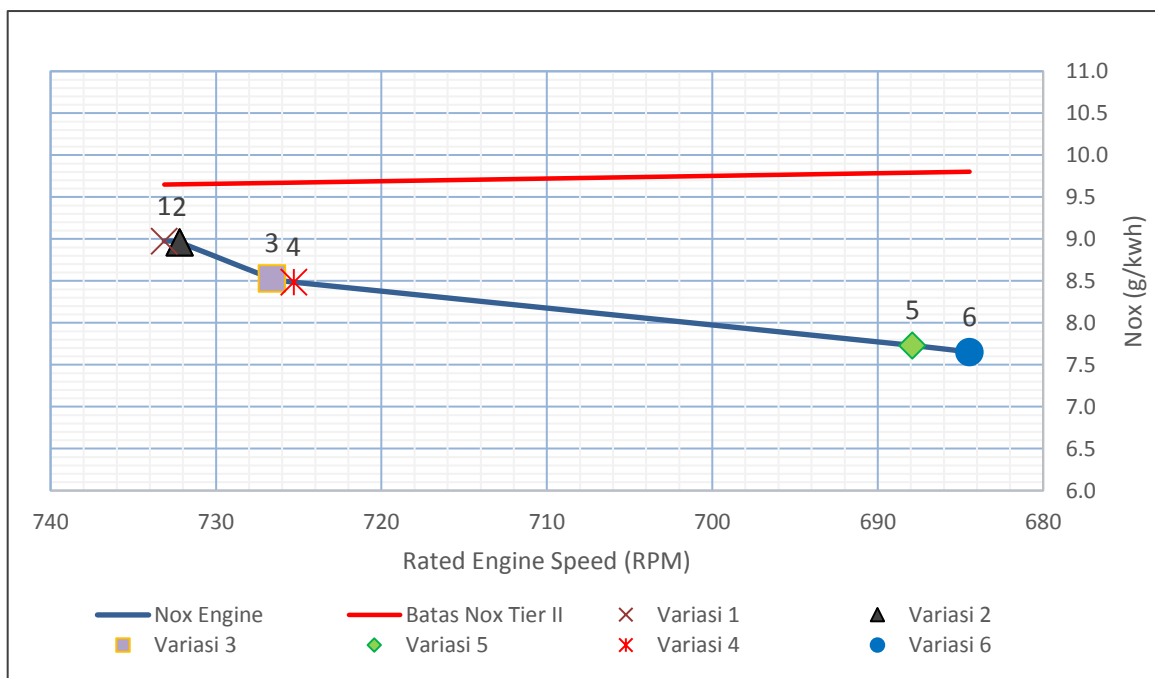
variasi	Total waktu tempuh (jam)	waiting time (jam)	Waiting time (menit)	SFC (ton)	Emisi Nox total (gm/kw)	Emisi Nox (gm/kwh)	Penurunan %
1	37,3	3,100	186,0	7,846	334,428	8,976	0,00%
2	37,3	3,053	183,2	7,828	334,094	8,956	0,22%
3	38,3	2,094	125,6	7,457	326,315	8,528	4,99%
4	38,4	1,991	119,5	7,418	325,531	8,485	5,47%
5	40,1	0,231	13,9	6,771	310,214	7,731	13,87%
6	40,3	0,025	1,5	6,694	308,535	7,650	14,78%

Dari hasil perhitungan Nitrogen Oksida (NOx), didapatkan nilai NOx terkecil pada variasi beban mesin ke-6 yaitu sebesar 7,650gm/kwh. Variasi beban mesin ini menggunakan kecepatan paling rendah yaitu 10,78 knot, dan kondisi MCR sebesar 5%. Penurunan emisi CO<sub>2</sub> dari variasi kecepatan ini sebesar 14,78% dibanding dengan saat menggunakan kecepatan dinas.

Besar konsumsi bahan bakar yang digunakan pada variasi beban mesin ke-6 lebih kecil yaitu dengan total 6,694 ton dibandingkan dengan pada kecepatan dinas yaitu sebesar 7,846 ton meskipun total waktu tempuh pada variasi beban mesin ke-6 lebih lama 3 jam dibandingkan dengan kecepatan dinas. Dengan menggunakan variasi beban mesin ke-6, waktu menunggu kapal masuk pelabuhan menjadi lebih kecil dengan menyisakan kurang lebih 1,5 menit dari pada pada kondisi sebelumnya yaitu 3,1 jam.



Gambar 5. 21 *Marpol Annex VI NOx Emission Limit*



Gambar 5. 22 Emisi NOx berdasarkan *Engine margin* (RPM)

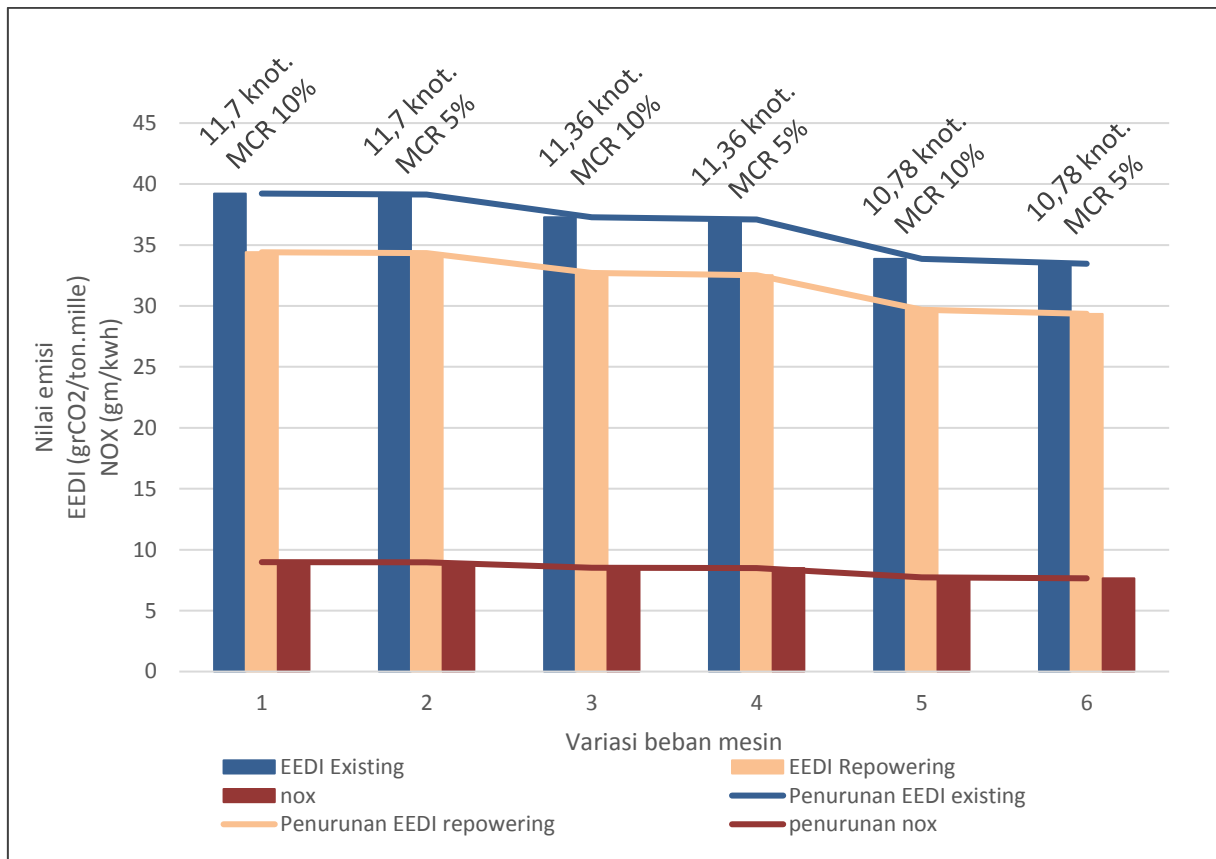
Sesuai dengan aturan yang dikeluarkan oleh MARPOL 73/78 regulasi 13 tentang limit dari *Nitrogen Oxida* (NOx) yang dikeluarkan kapal, mesin ini harus memenuhi limit *Tier II* (untuk kapal dibangun diatas 1 januari 2011) karena kapal ini dibangun pada tahun 2012 baik pada kecepatan dinas maupun penurunan kecepatan yang paling rendah. Sesuai dengan kurva diatas pada variasi beban mesin ke-6 mendapatkan nilai emisi NOx paling rendah yaitu sebesar

7,65 gr/kwh dan mempunyai selisih paling tinggi terhadap batas dari pada variasi lainnya yaitu sebesar 22%. Pada variasi beban mesin lainnya itu variasi ke-1; ke-2; ke-3; ke-4; dan ke-5, mempunyai selisih nilai NOx terhadap batas *Tier II* berturut-turut kurang lebih 7%, 7,2%; 11,8%; 12,3%; dan 21%. (Marpol 73/78 Annex VI, 2005)

Setelah didapatkan nilai emisi dari EEDI *existing engine*, EEDI *repowering*, dan NOx maka kurva dapat dijadikan satu sehingga memudahkan dalam penentuan variasi beban mesin yang optimum sebaga berikut.

Tabel 5. 17 Emisi EEDI dan NOx

variasi	<i>Existing</i>				Repowering			Waiting time (menit)
	RPM	SFC (ton)	EEDI existing engine (gm CO2/ton mil)	Nox (gm/kwh)	RPM	SFC (ton)	EEDI repowering (gm CO2/ton mil)	
1	733	7,846	39,220	8,976	733	6,882	34,403	186,0
2	732	7,828	39,129	8,956	732	6,867	34,324	183,2
3	727	7,457	37,277	8,528	727	6,542	32,699	125,6
4	725	7,418	37,079	8,485	725	6,507	32,525	119,5
5	688	6,771	33,848	7,731	688	5,940	29,691	13,9
6	684	6,694	33,459	7,650	684	5,872	29,350	1,5



Gambar 5. 23 Grafik emisi EEDI dan NOx

Dari grafik dan tabel diatas terlihat bahwa pada variasi beban mesin ke-6 mendapatkan nilai emisi yang paling rendah, baik dari EEDI maupun NOx. Dimana besar EEDI *repowering* mempunyai selisih 12,3% terhadap EEDI *existing engine*. Pada variasi beban mesin ke-6 EEDI *existing* mempunyai selisih 14,6% terhadap variasi beban mesin ke-1(kondisi asli).

Konsumsi bahan bakar yang dihasilkan pada variasi beban mesin ke-6 meskipun dengan waktu tempuh lebih lama, tetapi menghasilkan konsumsi bahan bakar yang lebih hemat yaitu 6,694 ton pada *existing engine*, sedangkan pada *repowering engine* menghasilkan 5,872 ton dan mempunyai selisih 21,2% terhadap konsumsi bahan bakar pada kondisi aslinya.

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **VI.1. Kesimpulan**

Setelah dilakukan analisis simulasi dan perhitungan pada model kapal maka dapat disimpulkan bahwa pengaruh pengurangan kecepatan berdampak kepada:

1. Nilai hambatan total pada kecepatan rendah (10,78 knot) yaitu 43,479 kN, sedangkan pada kecepatan tertinggi (11,7 knot) sebesar 56,925 kN. Dengan menggunakan nilai hambatan pada model tersebut sehingga membutuhkan mesin dengan BHP 1200kW.
2. Nilai respon kapal pada kecepatan tertinggi (11,7 knot) terhadap RAO *Roll* maksimum terjadi pada sudut 90° knot dengan rotasi maksimal 17,68°; *Pitch* terjadi pada sudut 0° dengan rotasi maksimal 6,43°; gerakan *Heave* terjadi pada sudut 180° dengan perpindahan maksimum 1,93m.
3. Nilai respon kapal pada kecepatan terendah (10,78 knot) terhadap RAO *Roll* maksimum terjadi pada sudut 90° knot dengan rotasi maksimal 15,98°; *Pitch* terjadi pada sudut 0° dengan rotasi maksimal 6,133°; gerakan *Heave* terjadi pada sudut 135° dengan perpindahan maksimum 1,71m.
4. Gerakan kapal maksimum terhadap gelombang irregular pada kecepatan rendah maupun tinggi seluruhnya memenuhi batas kriteria dari GL Noble Denton (2010). Sehingga meskipun kapal dioperasikan pada kecepatan tertinggi masih dalam batas aman. Akan tetapi lebih baik jika kecepatan kapal dioperasikan secara optimal pada kasus ini didapatkan dengan kecepatan paling rendah (variasi ke-6), sehingga ABK yang bekerja didalamnya lebih nyaman bekerja dan tidak mudah mabuk laut (*motion sickness*).
5. Dari perhitungan emisi, variasi beban mesin ke-6 dianggap sebagai kecepatan operasional paling optimum dikarenakan:
  - a. Sisa waktu tunggu dipelabuhan 1,5 menit
  - b. Emisi terendah *Nitrogen Oxida* (NOx) sebesar 7,650gm/kWh, penurunan 14,78% dari variasi ke-1 (kondisi asli) dan mempunyai selisih terhadap batas *Tier II* sebesar 21,69%.



- c. Emisi terendah EEDI (CO<sub>2</sub>) dengan *existing engine* sebesar 33,459 gmCO<sub>2</sub>/ton mille, penurunan 14,69% dari variasi ke-1 (kondisi asli) dan mempunyai selisih terhadap batas IMO sebesar 0,04%.
  - d. Emisi terendah EEDI (CO<sub>2</sub>) dengan *repowering engine* sebesar 29,350 gmCO<sub>2</sub>/ton mille, penurunan 14,69% dari variasi ke-1 (kondisi asli) dan mempunyai selisih terhadap batas IMO sebesar 14,05%.
  - e. Konsumsi bahan bakar yang lebih kecil yaitu 6,694 ton dibandingkan dengan kondisi kecepatan dinas yaitu 7,846 ton meskipun dengan waktu yang lebih lama 3 jam pada *existing engine*. Sedangkan pada *repowering engine* sebesar 5,872 ton dibandingkan dengan kondisi kecepatan dinas yaitu 6,882 ton.
6. Pemilihan dalam penggunaan *existing* ataupun *repowering engine* mempunyai beberapa dampak. Operasional kapal jika menggunakan *existing engine* masih dapat memenuhi batas kriteria emisi dari IMO pada variasi kecepatan ke-6 yaitu pada kecepatan 10,78 knot dengan engine margin MCR 5%.
  7. Pemilihan *repowering engine*/ pergantian mesin dapat memenuhi batas kriteria IMO pada variasi beban mesin ke-3 sampai ke-6 yaitu pada kecepatan 11,36 knot dan 10,78 knot baik pada MCR 5% ataupun 10%. Tetapi dengan penggantian mesin menyebabkan penambahan biaya penggantian mesin yang cukup mahal.

## VI.2. Saran

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan pada Tugas Akhir ini, terdapat beberapa saran yang dapat dilakukan sebagai analisis lanjutan, antara lain sebagai berikut:

1. Memperhitungkan *Automatic Identification System* (AIS) sebagai acuan untuk penentuan variasi kecepatan pelayaran yang lebih beragam.
2. Agar dapat dilakukan perhitungan ekonomis pada pemilihan antara menggunakan mesin *existing* atau *repowering*, sehingga dapat menjadi pertimbangan tambahan untuk penggantian mesin yang lebih ramah lingkungan.
3. Variasi mesin sebagai alternatif *repowering* dengan tipe dan merk lain yang lebih beragam sehingga dapat memperbanyak pilihan sebagai mesin yang optimum.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahadyanti, G. (2013). *Modifikasi Bentuk Lambung pada Shallow Draft Bulk Carrier untuk Menurunkan Konsumsi Bahan Bakar*. Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS.
- Ahadyanti, G. M. (2015). *Studi Optimasi Hull Form FSO di Laut Jawa*. Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS.
- Anderson. (1995). *Computational Fluid Dynamics: The Basics with Applications*. Department of Aerospace Engineering-University of Maryland.
- ANSYS. (2011). *Costumer Training Material Workshop 2.1*. ANSYS, Inc. Proprietary.
- ANSYS, Inc. (2014). *Ansys Aqwa Reference Manual*.
- ANSYS, Inc. (2014). *Ansys Aqwa Theory Manual*.
- Bertram, V. (2000). *Practical Ship Hydrodynamics*. Butterworth-Heinemann, Linecre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, UK.
- Bhattacharyya, R. (1978). *Dynamic of Marine Vehicle*. U.S. Naval Academy. Annapolis: Marryland.
- Carlton, J. (2007). *Marine Propellers and Propulsion, 2nd edition, Chapter 12 : SHip Resistance and Propulsion*. Butterworth-Heinemann.
- CFX. (2014). *CFX Manual XVI Chapter 9: Free Surface Flow Over a Bump*. Ansys.
- Digul Siswanto, M. (1998). *Hand Out Kuliah Tahanan Kapal*. Surabaya: Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS.
- Djatkiko, E. (2012). *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut diatas Gelombang Acak*. Surabaya: ITS Press.
- GL Nobel Denton. (2010). *Guidline for Marines Transportation*. Noble Denton Ltd.
- Harvald, S. (1992). *Tahanan dan Propulsi Kapal (terjemahan)*. Surabaya: Airlangga Press.
- IMO. (2012). *Guidelines on the Method of Calculation of the Attained energy Efficiency Design Index (EEDI) for new ships*. Resolution of the Marine Protection Environment Committee, MEPC.212(63).
- IMO. (2012). *Guidines on Survey and Certification of the Energy Efficiency Design Index (EEDI)*. Resolution of the Marine Protection Environment Committee, MEPC.212(63).

- IMO. (2016). *Module 2 - ship Energy efficiency Regulations and Relater Guidlines*. London: International Maritime Organisation.
- Jamaluddin, A., Utama, I., & Molland, A. (2010). Experimental Investigation Into the Drag Characteristic of Symmetrical and Asymmetrical Staggered and Unstaggered Catamaran. *International Conference on Ship & Offshore Technology (ICSOT)*. Surabaya: 11-12 November 2010.
- Kusuma Rahadi, C. W. (2016). *Analisis Perubahan Gaya Angkat dan Hambatan Total terhadap Variasi Sudut Serang pada Geladak Penghubung Lambung Kapal Trimaran Bersayap menggunakan Aplikasi CFD*. Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS.
- Lewis, E. V. (1988). *Principles of Naval Architecture Second Revision. Volume II : Resistance, Propulsion, and Vibration*. Jersey City, NJ: Society of Naval Architect and Marine Engineers.
- Marpol 73/78 Annex VI. (2005). *Regulation for the Prevention of Air Pollution from Ships*.
- McDermott, J. R. (2000). *WAMIT-MOSES Hydrodynamic Analysis Comparison Study*. Hull Engineering Dapartment.
- Molland, A., Turnock, S., Hudson, D., & Utama, I. (2012). *Reducing Ship Emission: A Review of Potentian Practical Improvement in The Propulsive Efficiency of Future Ships*. University of Southampton, UK and ITS Surabaya, Indonesia.
- Napitupulu, R. (2011). *Analisa Hambatan dan Seakeeping pada Fast Resque Boat*. Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS.
- Nawawi, M. (2015). *Analisa Computational Fluid Dynamis (CFD) terhadap Pengaruh Inclining Keel pada Hambatan dan Kecepatan Kapal Ikan*. Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS.
- Parsons, M. G. (2004). *Parametric Design, Chapter 11 in Ship Design and Construction Vol 1*.
- Perpres No 29. (2012). *Lampiran VI Marpol 73/78 Peraturan tentang Pencegahan Pencemaran Udara dari Kapal*.
- Rudiyansyah, H. (2012). *Analisa Pengaruh Seakeeping terhadap Kinerja dan Kenyamanan Kapal Ro-Pax Berbasis Uji Model di Perairan Laut Jawa*. Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS.
- Sholihin, A. R. (2015). *Analisis Gerakan Kapal FLNG pada Kondisi Free Floating di Gelombang Regular dengan Computational Fluid Dynamic*. Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS.

- Trozzi, C., & Vaccaro, R. (1998). *Methodologies for Estimating Air Pollutant Emissions from Ships*. 22nd CIMAC International Congress on Combustion Engine. Copenhagen.
- Utama, I., & Molland, A. F. (2001). *Experimental and Numerical Investigation into Catamaran Viscous Resistance*. Fast 2001.
- Wijayanto, A. Y. (2011). *Optimalisasi Pengoperasian Kecepatan Kapal Untuk Mengurangi Konsumsi Bahan Bakar dan Emisi CO<sub>2</sub>*. Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS.
- Wikipedia.org. (2016, May 10). Retrieved from [http://id.wikipedia.org/wiki/Automatic Identification System](http://id.wikipedia.org/wiki/Automatic_Identification_System)
- Woodyard, D. (2004). *Pounder's Marine Diesel Engine and Gas Turbines, Eighth edition*. Jordan Hill, Oxford OX2 8DP: Elsevier Butterworth-Heinemann.

**LAMPIRAN A**  
**WAITING TIME KAPAL DI PELABUHAN**

Waktu tunggu kapal KM. Mitra Anugrah II di pelabuhan tanjung perak, surabaya. Sumber: Pelabuhan Gapura Surya Nnusantara, 2015

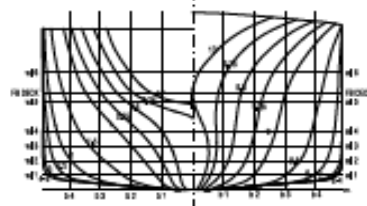
No	Penetapan Mulai	Penetapan Selesai	Realisasi Mulai	Realisasi Selesai	Nama Kapal	Agen Pelayaran	Jenis	Selisih
1	1/2/2014 13:30	1/3/2014 9:45	1/2/2014 16:35	1/3/2014 9:45	MITRA ANUGRAH II ,KM	ANUGRAH ABADI P PT.	KPLCARGO	3:05:00
2	1/26/2014 21:00	1/27/2014 7:30	1/26/2014 23:35	1/27/2014 7:35	MITRA ANUGRAH II ,KM	ANUGRAH ABADI P PT.	KPLCARGO	2:35:00
3	2/19/2014 21:30	2/20/2014 19:37	2/20/2014 0:50	2/20/2014 18:40	MITRA ANUGRAH II ,KM	ANUGRAH ABADI P PT.	KPLCARGO	3:20:00
4	3/3/2014 8:00	3/3/2014 18:00	3/3/2014 11:20	3/3/2014 18:30	MITRA ANUGRAH II ,KM	ANUGRAH ABADI P PT.	KPLCARGO	3:20:00
5	4/17/2014 19:00	4/18/2014 8:00	4/17/2014 22:10	4/18/2014 6:50	MITRA ANUGRAH II ,KM	ANUGRAH ABADI P PT.	KPLCARGO	3:10:00
6	6/14/2014 8:00	6/14/2014 23:00	6/14/2014 11:25	6/14/2014 18:50	MITRA ANUGRAH II ,KM	ANUGRAH ABADI P PT.	KPLCARGO	3:25:00
7	7/26/2014 8:00	7/26/2014 23:00	7/26/2014 11:30	7/26/2014 23:30	MITRA ANUGRAH II ,KM	ANUGRAH ABADI P PT.	KPLCARGO	3:30:00
8	12/2/2014 16:00	12/3/2014 16:00	12/2/2014 19:05	12/4/2014 4:30	MITRA ANUGRAH II ,KM	ANUGRAH ABADI P PT.	KPLCARGO	3:05:00
9	12/29/2014 10:00	12/29/2014 17:25	12/29/2014 11:40	12/29/2014 17:30	MITRA ANUGRAH II ,KM	ANUGRAH ABADI P PT.	KPLCARGO	1:40:00
10	4/30/2015 8:00	5/7/2015 13:00	4/30/2015 11:25	5/7/2015 13:00	MITRA ANUGRAH II ,KM	ANUGRAH ABADI P PT.	KPLCARGO	3:25:00
11	5/30/2015 7:20	5/30/2015 17:20	5/30/2015 10:45	5/30/2015 17:20	MITRA ANUGRAH II ,KM	ANUGRAH ABADI P PT.	KPLCARGO	3:25:00
12	6/12/2015 16:00	6/13/2015 16:00	6/12/2015 19:24	6/13/2015 17:13	MITRA ANUGRAH II ,KM	ANUGRAH ABADI P PT.	KPLCARGO	3:24:00

No	Penetapan Mulai	Penetapan Selesai	Realisasi Mulai	Realisasi Selesai	Nama Kapal	Agen Pelayaran	Jenis	Selisih
13	6/27/2015 8:00	6/28/2015 6:00	6/27/2015 10:55	6/28/2015 5:45	MITRA ANUGRAH II ,KM	ANUGRAH ABADI P PT.	KPLCARGO	2:55:00
14	7/28/2015 8:00	7/29/2015 6:00	7/28/2015 11:23	7/29/2015 6:43	MITRA ANUGRAH II ,KM	ANUGRAH ABADI P PT.	KPLCARGO	3:23:00
15	8/3/2015 8:00	8/3/2015 23:59	8/3/2015 11:15	8/4/2015 6:00	MITRA ANUGRAH II ,KM	ANUGRAH ABADI P PT.	KPLCARGO	3:15:00
16	11/26/2015 23:00	11/28/2015 8:00	11/27/2015 2:20	11/28/2015 6:22	MITRA ANUGRAH II ,KM	ANUGRAH ABADI P PT.	KPLCARGO	3:20:00
17	12/22/2015 16:00	12/23/2015 8:00	12/22/2015 18:25	12/23/2015 14:30	MITRA ANUGRAH II ,KM	ANUGRAH ABADI P PT.	KPLCARGO	2:25:00

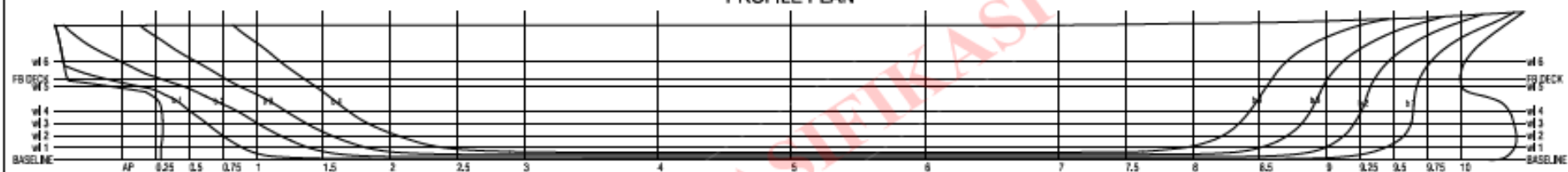
**LAMPIRAN B**  
**LINESPLAN KM. MITRA ANUGRAH II**



BODY PLAN



PROFILE PLAN



HALF BREADTH PLAN



SEEN  
DOKTER  
No. 1402040000  
02/06/19 04.04.2019

PRINCIPAL DIMENSIONS:

Loe : 58.30 m  
LPP : 52.00 m  
BEAM MLD : 9.70 m  
DEPTH MLD : 5.50 m  
DRAFT (design) : 3.25 m  
DEPTH 2nd DECK : 3.30 m

No.		Description		No. W.	
PT. ANUGRAH ABADI PERMAI					
No. 1					
MITRA ANUGRAH					
No. 2					
LINES PLAN					
No. 1		No. 2		No. 3	
No. 4		No. 5		No. 6	
No. 7		No. 8		No. 9	
No. 10		No. 11		No. 12	
No. 13		No. 14		No. 15	
No. 16		No. 17		No. 18	
No. 19		No. 20		No. 21	
No. 22		No. 23		No. 24	
No. 25		No. 26		No. 27	
No. 28		No. 29		No. 30	
No. 31		No. 32		No. 33	
No. 34		No. 35		No. 36	
No. 37		No. 38		No. 39	
No. 40		No. 41		No. 42	
No. 43		No. 44		No. 45	
No. 46		No. 47		No. 48	
No. 49		No. 50		No. 51	
No. 52		No. 53		No. 54	
No. 55		No. 56		No. 57	
No. 58		No. 59		No. 60	
No. 61		No. 62		No. 63	
No. 64		No. 65		No. 66	
No. 67		No. 68		No. 69	
No. 70		No. 71		No. 72	
No. 73		No. 74		No. 75	
No. 76		No. 77		No. 78	
No. 79		No. 80		No. 81	
No. 82		No. 83		No. 84	
No. 85		No. 86		No. 87	
No. 88		No. 89		No. 90	
No. 91		No. 92		No. 93	
No. 94		No. 95		No. 96	
No. 97		No. 98		No. 99	
No. 100		No. 101		No. 102	

**LAMPIRAN C**  
**PERHITUNGAN BHP REPOWERING**

Ukuran utama

Lpp =	53	m
lwl =	55.126	m
B =	9.7	m
H =	5.5	m
T =	3.25	m
g =	9.81	m/s <sup>2</sup>
$\rho$ =	1025	kg/m <sup>3</sup>
	1.025	ton/m <sup>3</sup>

Disp	1273	ton
Vol	1241.562	m <sup>3</sup>
Cb	0.714	
Cp	0.75	
Cw	0.816	
Cm	0.948	
wsa	690.519	m <sup>2</sup>
LCB	0.688	%lwl
LCF	-1.357	%lwl
		m fr mid
LCB	0.379	m fr mid
LCF	-0.748	m fr mid
Kb	1.737	

## A. Perhitungan Stotal

A1. Perhitungan Luas Permukaan Basah (WSA) badan kapal

(ref : PNA vol.II, hal.91)

$$WSA = 690.52 \quad \text{m}^2$$

A2 Perhitungan Luas Permukaan Basah tonjolan pada kapal

(ref : BKI vol.II, sec.14 A.3, hal.14 -1)

$$S_{kemudi} = \text{luasan daun kemudi}$$

$$= C_1 C_2 C_3 C_4 ((1.75 L T) / 100)$$

dimana ;

$$C_1 = 1.0 \quad \text{for general}$$

$$C_2 = 0.9 \quad \text{for semi-spade rudders}$$

$$C_3 = 1.0 \quad \text{for NACA profile and plate rudder}$$

$$C_4 = 1.0 \quad \text{for rudder in the propeller jet}$$

$$S_{app} = S_{kemudi} + S_{bilge}$$

$$= 37.231$$

$$S_{kemudi} = 5.426 \quad \text{m}^2 \quad \text{dikali 2 karena yang tercelup kanan dan kiri}$$

(ref : Practical Ship Design, hal.254)

$$S_{bilge} = \text{luasan bilge keels}$$

$$= 0.6 C_b L (0.18 / (C_b - 0.2))$$

$$= 31.805 \quad \text{m}^2$$

dikali 4 karena yang tercelup kanan dan kiri, atas, bawah

Maka, total luas permukaan basah kapal adalah :

$$S_{total} = WSA + S_{app}$$

$$= 727.750 \quad \text{m}^2$$

## B. Perhitungan Koefisien Gesek, C<sub>F</sub>

(ref : PNA vol.II, hal.90)

Untuk perhitungan harga koefisien gesek ini, dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus berdasarkan ITTC 1957, yaitu :

$$C_F = 0.075 / (\log Rn - 2)^2$$

dimana ;

$$Rn = \frac{\nu \cdot Lwl}{\nu}$$

$$\nu = 1.1883 \times 10^{-6}$$

$$= 684308237.5$$

$$C_F = 0.00161$$

### C. Perhitungan Koesifien Bentuk Kapal (1 + k)

#### C.1 Perhitungan Koefisien Bentuk bodi Kapal (1+k<sub>1</sub>)

(ref : PNA vol.II, hal.91)

$$1+k_1 = 0.93 + 0.4871c (B/L)^{1.0681} (T/L)^{0.4611} (L/LR)^{0.1216} (L^3/V)^{0.3649} (1-C_p)^{(-0.6042)}$$

dimana ;

c = koefisien bentuk *afterbody*

$$c = 1 + 0.011c_{\text{stern}} >>$$

$$C_{\text{stern}} = 0$$

$$= 1$$

for normal section shape

$$c_{\text{stern}} = -25 \quad \text{for pram with gondola}$$

$$c_{\text{stern}} = -10 \quad \text{for V-shaped sections}$$

$$c_{\text{stern}} = 0 \quad \text{for normal section shape}$$

$$c_{\text{stern}} = 10 \quad \text{for U-shaped sections with Hogner stern}$$

#### C.2 Perhitungan L<sub>R</sub>/L

(ref : PNA vol.II, hal.91)

$$L_R/L = 1 - C_p + 0.06 C_p LCB / (4C_p - 1)$$

$$= 0.134$$

Sehingga, harga 1+k<sub>1</sub> adalah :

$$1+k_1 = 0.93 + 0.4871c (B/L)^{1.0681} (T/L)^{0.4611} (L/LR)^{0.1216} (L^3/V)^{0.3649} (1-C_p)^{(-0.6042)}$$

$$= 2.9658$$

#### C.3 Perhitungan Koefisien 1+k<sub>2</sub>

(ref : PNA vol.II, tabel 25, hal.92)

Koefisien ini merupakan koefisien akibat pengaruh tonjolan yang terdapat pada lambung kapal di bawah permukaan garis air.

$$1+k_2 = 1.50 \quad (\text{for rudder of single screw ships})$$

$$= 1.4 \quad (\text{for bilge keels})$$

$$(1+k_2)_{\text{eff}}$$

$$= ((1.5 \times 27,09) + (1.4 \times 71,872)) / (27,09 + 71,872)$$

$$= 1.415$$

#### C.4 Perhitungan Koefisien 1+k

(ref : PNA vol.II, hal.92)

$$1+k = 1 + k_1 + [1 + k_2 - (1 + k_1)] S_{app}/Stot$$

$$= 1.329 + [(1.425 - 1.329) \times (67.451 / 1953.129)]$$

$$= 2.886$$

### D. Perhitungan model-ship correlation allowance, C<sub>A</sub>

(ref : PNA vol.II, hal.93)

$$C_A = 0.006 (L_{WL} + 100)^{-0.16} - 0.00205$$

dimana ;

$$T/L_{WL} = 0.059$$

Untuk ( $T/L_{WL} > 0.04$ ), maka  $C_A$  adalah :

$$C_A = 0.000627$$

## G. Perhitungan Effective Horse Power, EHP

(ref : PNA vol.II, hal.153)

$R_T$  = Hambatan Total

$V_s$  = Kecepatan Kapal

$$EHP = R_T \times V_s$$

$$= 669.234 \quad \text{kN m/s}^2$$

$$= 909.904 \quad \text{HP}$$

$$1 \text{ HP} = 0.7355 \quad \text{kW}$$

## H. Perhitungan Delivery Horse Power, DHP

(ref : PNA vol.II, hal.153)

$$DHP = EHP / \eta_D$$

dimana ;

Hull

$\eta_H$  = efisiensi

$\eta_R$  = Efisiensi putaran relatif

$\eta_o$  = Efisiensi propeller pada open water

$$\eta_D = \eta_H \times \eta_R \times \eta_o$$

Hull

$\eta_H$  = efisiensi

$$= (1 - t) / (1 - w)$$

### H.1 Perhitungan Thrust deduction, t

(ref : PNA vol.II, hal.162)

$$t = \frac{0.25014 \left( \frac{B}{L} \right)^{0.28956} \left( \frac{\sqrt{BT}}{D} \right)^{0.2624}}{(1 - C_P + 0.0225 LCB)^{0.01762} + 0.0015 \cdot C_{STERN}}$$

D = Diameter Propeller

$$D = 2.11 \quad \text{m}$$

$$C_{stern} = 0 \quad (\text{normal-shaped section})$$

maka, dapat dihitung harga t adalah :

$$t = 0.202$$

### H.2 Perhitungan wake fraction, w

(ref : PNA vol.II, hal.162)

$$w = c_9 c_{20} C_V \frac{L}{T_A} \left( 0.050776 + 0.93405 c_{11} \frac{C_V}{(1 - C_{P1})} \right) + 0.27915 c_{20} \sqrt{\frac{B}{L(1 - C_{P1})}} + c_{19} c_{20}$$

$$c_9 = c_8 \quad \text{when } c_8 < 28$$

$$c_8 = BS/(L D T_A) \quad \text{when } B/T_A < 5$$

untuk single screw  
with a conventional stern  
arrangement

$$B/T_A = 2.98 < 5$$

$$C_8 = 18.40735631$$

$$T_A / D = 1.54$$

$$c_{11} = T_A / D \text{ when } T_A / D < 2$$

$$C_{11} = 1.54$$

$$C_{\text{stern}} = 0$$

$$c_{20} = 1 + 0.015 C_{\text{stern}}$$

$$C_{20} = 1$$

$$C_V = (1 + k) C_F + C_A$$

$$C_V = 0.005260518$$

$$w = 0.407518399$$

$$C_9 = 18.407356$$

$$C_P = 0.7500$$

$$c_{19} = 0.18567 / (1.3571 - C_M) - 0.71276 + 0.38648 C_P \text{ when } C_P > 0.7$$

$$C_{19} = 0.0309499$$

$$C_{P1} = 1.45 C_P - 0.315 - 0.0225 lcb$$

$$C_{P1} = 0.7639725$$

### H.3 Perhitungan efisiensi hull, $\eta H$

(ref : PNA vol.II, hal.152)

$$\begin{aligned} \eta H &= (1 - t) / (1 - w) \\ &= 1.346 \end{aligned}$$

### H.4 Perhitungan Efisiensi Relatif Rotative, $\eta R$

(ref : PNA vol II, hal.163)

$$\begin{aligned} \eta R &= 0.9922 - 0.05908 Ae/Ao + 0.07424(C_P - 0.0225 lcb) \\ &= 1.008 \end{aligned}$$

### H.5 Perhitungan open water test, $\eta o$

(ref : PNA vol.II, hal.153)

$$\eta o = 0.50 \leq \eta o \leq 0.669$$

$$= 0.557$$

### H.6 Perhitungan efisiensi propulsif, $\eta D$

(ref : PNA vol.II, hal.153)

$$\eta H = \text{Hull efisiensi}$$

$$\eta R = \text{Efisiensi putaran relatif}$$

$$\eta o = \text{Efisiensi propeller}$$

$$\eta D = \eta H \times \eta R \times \eta o$$

$$= 0.756$$

Sehingga, harga *DHP* adalah :

$$\begin{aligned} DHP &= EHP / \eta_D \\ &= 1203.57 \quad \text{HP} \end{aligned}$$

## I. Perhitungan Break Horse Power, BHP

$$SHP = DHP \quad \text{Untuk mesin diesel, } P_s = P_D$$

$$= 1203.57 \quad \text{HP}$$

### I.1 Perhitungan Break Horse Power, BHP

*BHP SCR*

$$= SHP / \eta_t \quad (\text{ref : Parametric Design chapter 11, hal.11-29})$$

(ref : Parametric Design chapter 11, hal.11-33)

$$\eta_t = \prod (1 - l_i)$$

$$l_i = 0.010 \quad \text{for each gear reduction}$$

$$l_i = 0.005 \quad \text{for the trust bearing}$$

$$l_i = 0.010 \quad \text{for a reversing gear path}$$

$$\eta_t = (1 - 0.010) \times (1 - 0.005) \times (1 - 0.010)$$

$$= 0.9751995$$

*BHP SCR*

$$\begin{aligned} &= 1234.177 \quad \text{HP} \\ &907.737 \quad \text{kW} \end{aligned}$$

*BHP*

$$MCR = BHP \text{ SCR} / 0.825 \quad \text{SCR} = 80\% - 85\% \text{ MCR}$$

$$1495.972 \quad \text{HP}$$

$$1100.287 \quad \text{kW}$$

**LAMPIRAN D**  
**PERHITUNGAN EMISI BAHAN BAKAR**



A. Perhitungan Emisi Nitrogen Oxida (NOx)

1	11,7 knot	Margin	Jarak (nm)	RPM	Kw	Kecepatan	Waktu (jam)	SFC (ton/h)	E = Emisi (kg/jam)	Emisi Nox (gm/kwh)
	MCR	10%	43,7	750	1368	12,0	3,6	0,224	12,789	34,044
	SCR	90%	393,3	731	1334	11,7	33,6	0,209	11,9187	300,384
	total		437				37,3	7,85		8,976

2	11,7 knot	Margin	Jarak (nm)	RPM	Kw	Kecepatan	Waktu (jam)	SFC (ton/h)	E = Emisi (kg/jam)	Emisi Nox (gm/kwh)
	MCR	5%	21,85	750	1368	12,0	1,8	0,224	12,789	17,022
	SCR	95%	415,15	731	1334	11,7	35,5	0,209	11,9187	317,072
	total		437				37,3	7,83		8,956

3	11,36 knot	Margin	Jarak (nm)	RPM	Kw	Kecepatan	Waktu (jam)	SFC (ton/h)	E = Emisi (kg/jam)	Emisi Nox (gm/kwh)
	MCR	10%	43,7	750	1368	12,0	3,6	0,224	12,789	34,044
	SCR	90%	393,3	724	1295	11,36	34,6	0,192	10,9326	292,271
	total		437				38,3	7,46		8,528

4	11,36 knot	Margin	Jarak (nm)	RPM	Kw	Kecepatan	Waktu (jam)	SFC (ton/h)	E = Emisi (kg/jam)	Emisi Nox (gm/kwh)
	MCR	5%	21,85	750	1368	12,0	1,8	0,224	12,789	17,022
	SCR	95%	415,15	724	1295	11,36	36,5	0,192	10,9326	308,508
	total		437				38,4	7,42		8,485

5	10,78 knot	Margin	Jarak (nm)	RPM	Kw	Kecepatan	Waktu (jam)	SFC (ton/h)	E = Emisi (kg/jam)	Emisi Nox (gm/kwh)
	MCR	10%	43,7	750	1368	12,0	3,6	0,224	12,789	34,044
	SCR	90%	393,3	681	1229	10,78	36,5	0,163	9,3024	276,170
	total		437				40,1	6,77		7,731

6	10,78 knot	Margin	Jarak (nm)	RPM	Kw	Kecepatan	Waktu (jam)	SFC (ton/h)	E = Emisi (kg/jam)	Emisi Nox (gm/kwh)
	MCR	5%	21,85	750	1368	12,0	1,8	0,224	12,789	17,022
	SCR	95%	415,15	681	1229	10,78	38,5	0,163	9,3024	291,513
	total		437				40,3	6,69		7,650

#### B. Perhitungan Emisi EEDI-Carbon Dioxida (CO<sub>2</sub>) Existing

1	11,7 knot	Margin	Jarak (nm)	RPM	Kw	Kecepatan	Waktu (jam)	SFC (g/kwh)	V (mill/hr)	EEDI (gm CO2/ton mil)
	MCR	10%	43,7	750	1368	12,0	3,6	164,01	13,809	1784,824
	SCR	90%	393,3	731	1334	11,7	33,6	156,77	13,464	15354,138
	total		437	733			37,3	5867,16		39,220

2	11,7 knot	Margin	Jarak (nm)	RPM	Kw	Kecepatan	Waktu (jam)	SFC (g/kwh)	V (mill/hr)	EEDI (gm CO2/ton mil)
	MCR	5%	21,85	750	1368	12,0	1,8	164,01	13,809	892,412
	SCR	95%	415,15	731	1334	11,7	35,5	156,77	13,464	16207,146
	total		437	732			37,3	5861,29		39,129

3	11,36 knot	Margin	Jarak (nm)	RPM	Kw	Kecepatan	Waktu (jam)	SFC (g/kwh)	V (mill/hr)	EEDI (gm CO2/ton mil)
	MCR	10%	43,7	750	1368	12,0	3,6	164,01	13,809	1784,824
	SCR	90%	393,3	724	1295	11,36	34,6	148,10	13,0728	14505,260
	total		437	727			38,3	5724,83		37,277

4	11,36 knot	Margin	Jarak (nm)	RPM	Kw	Kecepatan	Waktu (jam)	SFC (g/kwh)	V (mill/hr)	EEDI (gm CO2/ton mil)
	MCR	5%	21,85	750	1368	12,0	1,8	164,01	13,809	892,412
	SCR	95%	415,15	724	1295	11,36	36,5	148,10	13,0728	15311,107
	total		437	725			38,4	5711,06		37,079

5	10,78 knot	Margin	Jarak (nm)	RPM	Kw	Kecepatan	Waktu (jam)	SFC (g/kwh)	V (mill/hr)	EEDI (gm CO2/ton mil)
	MCR	10%	43,7	750	1368	12,0	3,6	164,01	13,809	1784,824
	SCR	90%	393,3	681	1229	10,78	36,5	132,80	12,405	13006,753
	total		437	688			40,1	5442,89		33,848

6	10,78 knot	Margin	Jarak (nm)	RPM	Kw	Kecepatan	Waktu (jam)	SFC (g/kwh)	V (mill/hr)	EEDI (gm CO2/ton mil)
	MCR	5%	21,85	750	1368	12,0	1,8	164,01	13,809	892,412
	SCR	95%	415,15	681	1229	10,78	38,5	132,80	12,405	13729,351
	total		437	684			40,3	5412,89		33,459

### C. Perhitungan Emisi Carbon Dioxida (CO2) *Repowering*

1	11,7 knot	Margin	Jarak (nm)	RPM	Kw	Kecepatan	Waktu (jam)	SFC (g/kw)	V (mill/hr)	EEDI (gm CO2/ton mil)
	MCR	10%	43,7	750	1200	12,0	3,6	164,009	13,809	1565,635
	SCR	90%	393,3	731	1170	11,7	33,6	156,770	13,464	13468,542
	total		437	733			37,3	5867,16		34,403

2	11,7 knot	Margin	Jarak (nm)	RPM	Kw	Kecepatan	Waktu (jam)	SFC (g/kw)	V (mill/hr)	EEDI (gm CO2/ton mil)
	MCR	5%	21,85	750	1200	12,0	1,8	164,009	13,809	782,817
	SCR	95%	415,15	731	1170	11,7	35,5	156,770	13,464	14216,795
	total		437	732			37,3	5861,29		34,324

3	11,36 knot	Margin	Jarak (nm)	RPM	Kw	Kecepatan	Waktu (jam)	SFC (g/kw)	V (mill/hr)	EEDI (gm CO2/ton mil)
	MCR	10%	43,7	750	1200	12,0	3,6	164,009	13,809	1565,635
	SCR	90%	393,3	724	1136	11,36	34,6	148,104	13,073	12723,912
	total		437	727			38,3	5724,83		32,699

4	11,36 knot	Margin	Jarak (nm)	RPM	Kw	Kecepatan	Waktu (jam)	SFC (g/kw)	V (mill/hr)	EEDI (gm CO2/ton mil)
	MCR	5%	21,85	750	1200	12,0	1,8	164,009	13,809	782,817
	SCR	95%	415,15	724	1136	11,36	36,5	148,104	13,073	13430,796
	total		437	725			38,4	5711,06		32,525

5	10,78 knot	Margin	Jarak (nm)	RPM	Kw	Kecepatan	Waktu (jam)	SFC (g/kw)	V (mill/hr)	EEDI (gm CO2/ton mil)
---	------------	--------	------------	-----	----	-----------	-------------	------------	-------------	-----------------------

	MCR	10%	43,7	750	1200	12,0	3,6	164,009	13,809	1565,635
	SCR	90%	393,3	681	1078	10,78	36,5	132,800	12,405	11409,433
	total		437	688			40,1	5442,36		29,691

6	10,78 knot	Margin	Jarak (nm)	RPM	Kw	Kecepatan	Waktu (jam)	SFC (g/kw)	V (mill/hr)	EEDI (gm CO2/ton mil)
	MCR	5%	21,85	750	1200	12,0	1,8	164,009	13,809	782,817
	SCR	95%	415,15	681	1078	10,78	38,5	132,800	12,405	12043,290
	total		437	684			40,3	5412,89		29,350

#### Rekapitulasi

variasi	Existing				Repowering			Waiting time (menit)
	RPM	SFC (ton)	EEDI existing engine (gm CO2/ton mil)	Nox (gm/kwh)	RPM	SFC (ton)	EEDI repowering (gm CO2/ton mil)	
1	733	7,846	39,220	8,976	733	6,882	34,403	186,0
2	732	7,828	39,129	8,956	732	6,867	34,324	183,2
3	727	7,457	37,277	8,528	727	6,542	32,699	125,6
4	725	7,418	37,079	8,485	725	6,507	32,525	119,5
5	688	6,771	33,848	7,731	688	5,940	29,691	13,9
6	684	6,694	33,459	7,650	684	5,872	29,350	1,5

## **LAMPIRAN E**

### **HASIL RAO, PERHITUNGAN WAVE SPECTRUM, DAN RESPONSE SPECTRUM**

## Rekapitulasi RAO

RAO ROLL 10,78 knot

Frekuensi (Hz)	0	45	90	135	180
0,01	1,3061E-05	0,00639713	0,008032322	0,00638411	1,4818E-05
0,04372	1,7816E-05	0,01216601	0,027328766	0,01223342	2,2539E-05
0,07745	1,542E-05	0,00115957	0,048156212	0,00304889	2,6455E-05
0,11117	3,6008E-05	0,07394916	0,056860898	0,05026847	5,2784E-05
0,14489	5,1127E-05	0,17340974	0,174956083	0,12550187	0,00022583
0,17862	3,9646E-05	0,16722303	0,357398746	0,08490077	6,9798E-05
0,21234	3,8937E-05	0,05926305	0,519145016	0,0234499	4,1419E-05
0,24606	3,2375E-06	0,09213022	0,635117306	0,09831334	2,6995E-05
0,27979	1,7638E-05	0,06131033	0,658030243	0,08898431	1,2318E-05
0,31351	2,3542E-05	0,01780715	0,606748009	0,01519306	9,9527E-06
0,34724	7,6303E-05	0,06219965	0,499062286	0,05590137	6,7604E-05
0,38096	3,9354E-05	0,01777782	0,385596595	0,02565818	1,4461E-05
0,41468	5,1088E-05	0,03076461	0,187212951	0,03058781	2,1845E-05
0,44841	6,7886E-05	0,01147391	0,202693054	0,01128682	7,0823E-05
0,48213	5,5601E-05	0,01006129	0,178791421	0,01171035	6,2383E-05
0,51585	5,5969E-06	0,00999583	0,162788167	0,00999585	1,7607E-05
0,54958	3,7975E-05	0,00674828	0,146054124	0,00668326	0,00010813
0,5833	1,0172E-05	0,00418348	0,127455372	0,00427523	2,4841E-05
0,61702	1,6857E-05	0,0027265	0,105977289	0,00280253	1,0098E-05
0,65075	3,8012E-05	0,00178119	0,083521467	0,00192999	3,596E-05
0,68447	7,7084E-05	0,00119457	0,061738427	0,00141022	7,5605E-05
0,71819	9,7737E-06	0,00107827	0,052878764	0,00104856	1,3266E-05
0,75192	2,9055E-05	0,00067376	0,040424315	0,00073621	1,8126E-05

RAO ROLL 11,36 knot

Frekuensi (Hz)	0	45	90	135	180
0,01	1,3202E-05	0,00642775	0,0079183	0,00641401	1,5114E-05
0,04372	1,9548E-05	0,01181977	0,0266135	0,01188307	2,504E-05
0,07745	1,6481E-05	0,00308642	0,04772441	0,00288973	2,7866E-05
0,11117	3,8348E-05	0,07834026	0,06008405	0,0517671	5,8317E-05
0,14489	5,5439E-05	0,17872507	0,17941091	0,12666706	0,00023468
0,17862	4,2663E-05	0,16730368	0,36162618	0,08594635	6,9219E-05
0,21234	0,00010251	0,05771062	0,52232874	0,02008866	7,8114E-05
0,24606	2,5274E-05	0,07618377	0,63738557	0,10574151	2,973E-05
0,27979	2,5349E-05	0,05941223	0,65938993	0,08363841	6,9355E-06
0,31351	2,1139E-05	0,01552242	0,60748124	0,01362297	8,8932E-06
0,34724	1,7277E-05	0,05979316	0,49934174	0,05454629	2,0654E-05
0,38096	1,8789E-05	0,01745712	0,38561631	0,02418649	3,0158E-05
0,41468	5,3837E-05	0,03027797	0,18717432	0,02873662	2,1297E-05
0,44841	4,4943E-05	0,01149454	0,20263733	0,010751	4,424E-05
0,48213	9,064E-06	0,009406	0,17876926	0,01080392	1,8717E-05
0,51585	1,4302E-05	0,00979006	0,16278866	0,0099485	1,6648E-05
0,54958	2,3788E-05	0,00666408	0,14606242	0,00663622	1,5243E-05
0,5833	0,00013894	0,0040417	0,12746323	0,00413906	0,00015541
0,61702	1,1518E-05	0,00272782	0,10598268	0,00283492	5,4994E-06
0,65075	3,5504E-05	0,00184867	0,08352441	0,00189483	1,454E-05
0,68447	1,1128E-05	0,00136882	0,06173996	0,00139391	2,6673E-05
0,71819	9,6337E-06	0,0010329	0,05287956	0,00100965	9,3456E-06
0,75192	4,158E-06	0,00069253	0,04042483	0,00074353	1,0921E-05

# RAO ROLL 11,7 knot

Frekuensi (Hz)	0	45	90	135	180
0,01	1,3194E-05	0,00644926	0,00785767	0,00643509	1,5224E-05
0,04372	2,0403E-05	0,01169901	0,02624068	0,01175946	2,5055E-05
0,07745	1,7405E-05	0,00464287	0,0475112	0,00379133	2,7725E-05
0,11117	3,9981E-05	0,0809818	0,06196827	0,05271931	6,1661E-05
0,14489	5,8054E-05	0,18178215	0,18202165	0,12729217	0,00023635
0,17862	4,5003E-05	0,1671877	0,36410076	0,08644028	6,9627E-05
0,21234	4,0072E-05	0,05779084	0,5241889	0,01999229	3,5362E-05
0,24606	7,3595E-06	0,13270264	0,63870513	0,02670632	2,4552E-05
0,27979	1,5805E-05	0,05885753	0,66017796	0,08159974	1,9169E-05
0,31351	5,9992E-07	0,0154085	0,60790461	0,01228506	3,4284E-05
0,34724	2,1509E-05	0,05924053	0,49950177	0,0539445	1,5357E-05
0,38096	0,00017487	0,01741852	0,38562666	0,02326932	0,00018117
0,41468	1,6143E-05	0,02984987	0,18715152	0,02913714	1,9933E-05
0,44841	3,8432E-05	0,01145225	0,20260472	0,01111397	2,7563E-05
0,48213	2,1596E-05	0,00902048	0,17875634	0,0106319	4,053E-05
0,51585	3,3894E-05	0,00956063	0,16278886	0,00967251	1,2882E-05
0,54958	4,6622E-05	0,00645477	0,14606716	0,00651234	5,9481E-05
0,5833	1,0453E-05	0,00399307	0,12746782	0,00406259	3,5991E-05
0,61702	4,3983E-05	0,0025837	0,10598578	0,00273685	5,3342E-05
0,65075	3,0223E-05	0,00174138	0,08352616	0,00196401	1,3789E-05
0,68447	1,6369E-05	0,00136618	0,06174086	0,00135154	3,087E-05
0,71819	1,8914E-05	0,00096513	0,05288002	0,00096142	2,536E-05
0,75192	1,3671E-05	0,00067905	0,04042513	0,00067801	1,0234E-05

# RAO PITCH 10,78 knot

Frekuensi (Hz)	0	45	90	135	180
0,01	0,02521348	0,03340504	0,114025726	0,02988292	0,0178498
0,04372	0,2132201	0,1584889	0,492865543	0,1407915	0,19143086
0,07745	1,23667021	0,80269482	1,02860301	0,71171105	1,1211589
0,11117	4,3200558	2,93664794	1,633124164	2,52774245	3,74916255
0,14489	7,01861616	5,97154133	2,255137646	4,51844164	5,64271511
0,17862	0,79874751	2,81855824	2,860631568	2,47022265	0,81897591
0,21234	0,31608381	0,42712439	3,731233306	0,31557288	0,20445241
0,24606	0,10453913	0,26958178	1,791962241	0,16866321	0,09556553
0,27979	0,08061027	0,10801019	0,553463142	0,08723094	0,0585785
0,31351	0,01155453	0,07316871	0,231693757	0,03324282	0,00751619
0,34724	0,01253614	0,0302795	0,108882287	0,0205927	0,01348357
0,38096	0,00819702	0,02652008	0,064089973	0,01643669	0,00582841
0,41468	0,00434399	0,01128889	0,03880662	0,00233513	0,00295282
0,44841	0,00404148	0,00763263	0,024838868	0,00447539	0,00233829
0,48213	0,00230702	0,00642014	0,016599821	0,00345365	0,00218832
0,51585	0,00092459	0,00447494	0,008084755	0,00173683	0,00100146
0,54958	0,00060471	0,00303973	0,005069642	0,00159979	0,0005266
0,5833	0,0007211	0,0017509	0,002099259	0,00096904	0,00069697
0,61702	0,00042986	0,00129084	0,001677205	0,00094765	0,00030363
0,65075	0,00079607	0,00092388	0,001700645	0,00088796	0,00084205
0,68447	0,00019426	0,00125846	0,001931331	0,00112125	0,00018846
0,71819	0,00026765	0,00097578	0,001725564	0,00100318	0,00025946
0,75192	0,00022427	0,00095431	0,001247499	0,00109354	0,00016206



RAO PITCH 11,36 knot

Frekuensi (Hz)	0	45	90	135	180
0,01	0,02496027	0,04099343	0,12256984	0,0377333	0,01599719
0,04372	0,20839738	0,18680501	0,52998602	0,16943978	0,18178749
0,07745	1,28886225	0,86609712	1,10873778	0,76626782	1,15618838
0,11117	4,3914808	3,03390002	1,73950393	2,59318057	3,7718422
0,14489	7,04545582	6,12406372	2,34186739	4,59842315	5,7104629
0,17862	0,71585591	2,58181834	2,91793493	2,28185073	0,73110985
0,21234	0,31098145	0,21984799	3,80831413	0,30855999	0,2107654
0,24606	0,09513504	0,26618616	1,87093716	0,16614231	0,08693252
0,27979	0,07684022	0,10186507	0,57044908	0,08234569	0,05799729
0,31351	0,01109511	0,06973975	0,23586255	0,03508809	0,00622022
0,34724	0,011343	0,02795967	0,10948953	0,01831509	0,01184056
0,38096	0,00765485	0,02475631	0,06380706	0,01673953	0,00546207
0,41468	0,00444533	0,00937506	0,03853639	0,00437587	0,00296195
0,44841	0,00232974	0,00770971	0,02463061	0,00495259	0,00156601
0,48213	0,00184994	0,00637003	0,01649745	0,0040426	0,00173018
0,51585	0,00074383	0,00507924	0,00801262	0,00199577	0,00081983
0,54958	0,00038365	0,00303383	0,00503265	0,00181858	0,00084154
0,5833	0,00031962	0,00157032	0,00208048	0,00114718	0,00034434
0,61702	0,00034372	0,00117675	0,00166695	0,00101982	0,00028778
0,65075	0,0007593	0,00081567	0,00169199	0,00065082	0,00050531
0,68447	0,00026802	0,00145678	0,00192116	0,00112957	0,00010598
0,71819	0,00033969	0,00159965	0,00172082	0,00144271	0,00023996
0,75192	0,00021784	0,00071592	0,00124992	0,00074556	0,00020334

RAO PITCH 11,7 knot

Frekuensi (Hz)	0	45	90	135	180
0,01	0,02611922	0,0457186	0,12773061	0,04255112	0,0168379
0,04372	0,20954731	0,20599432	0,55246113	0,1888537	0,18028584
0,07745	1,32508455	0,90873906	1,15739188	0,80405686	1,18227842
0,11117	4,42779521	3,08872616	1,80185428	2,6305925	3,78086402
0,14489	7,0143426	6,22251279	2,38926356	4,65837812	5,71906125
0,17862	0,67318238	2,45503957	2,94756771	2,17962222	0,68513457
0,21234	0,29689349	0,35266961	3,84883977	0,20777054	0,1971322
0,24606	0,09009839	0,26429737	1,9175357	0,17677351	0,08251908
0,27979	0,07582886	0,10105718	0,58048081	0,08029178	0,05751972
0,31351	0,01054343	0,06979245	0,2383676	0,0354215	0,00558873
0,34724	0,01118865	0,02688475	0,10989315	0,01786142	0,01241522
0,38096	0,00655995	0,02628475	0,06366501	0,01662846	0,00470311
0,41468	0,00477269	0,01016492	0,03838824	0,00269342	0,00297343
0,44841	0,00234102	0,00691679	0,02451279	0,00429993	0,00173612
0,48213	0,00167477	0,00682587	0,01643895	0,00415428	0,001515
0,51585	0,00079553	0,00482419	0,00797126	0,00218416	0,00072113
0,54958	0,00048967	0,00246475	0,00501138	0,0016553	0,00068275
0,5833	0,00139418	0,00155054	0,00206966	0,0012004	0,00151646
0,61702	0,00082602	0,00111863	0,00166101	0,0009865	0,00051203
0,65075	0,00025036	0,0010242	0,00168702	0,0010749	0,0003753
0,68447	0,00022318	0,00125482	0,00191528	0,00099029	0,00060247
0,71819	0,00028602	0,00073891	0,00171807	0,00070961	0,00025237
0,75192	0,00016978	0,00069678	0,00125138	0,00051502	0,00024745

# RAO

## HEAVE

10,78 knot

Frekuensi (Hz)	0	45	90	135	180
0,01	1,00117338	1,00117445	1,000948668	1,00045264	1,00045383
0,04372	1,01686275	1,01736736	1,012821794	1,01173961	1,01090312
0,07745	1,01970005	1,04036403	1,040660977	1,012604	0,99255246
0,11117	0,93932676	0,97511774	1,029608727	0,97125113	1,05953693
0,14489	1,13675749	1,21538377	0,98910749	1,5934428	1,72971654
0,17862	0,07678538	0,34362784	1,08159256	0,48461527	0,00199043
0,21234	0,04490295	0,08480167	1,328325152	0,04903577	0,04641868
0,24606	0,01983594	0,03290752	0,868848503	0,03259488	0,01057421
0,27979	0,00729793	0,01697114	0,358619362	0,00612064	0,00860357
0,31351	0,00498775	0,01015481	0,176394537	0,00866085	0,00407544
0,34724	0,00127759	0,00503973	0,094158158	0,00258545	0,00054066
0,38096	0,00018444	0,00195008	0,053005263	0,00129252	0,0003717
0,41468	0,00017795	0,00229652	0,030291267	0,00168882	0,0001418
0,44841	0,0001904	0,00103392	0,017144281	0,0006039	0,00020323
0,48213	0,0001069	0,00024285	0,008752601	0,00018006	2,5927E-05
0,51585	0,00014676	0,00030641	0,005324556	0,00027641	0,00011934
0,54958	0,00012528	0,00038907	0,002922723	0,00035797	0,00012438
0,5833	3,164E-05	0,00028432	0,001373751	0,00027337	1,8725E-05
0,61702	7,3751E-05	0,00023439	0,00069363	0,00020994	5,4387E-05
0,65075	5,7796E-05	0,0001154	0,000996366	8,7048E-05	6,6879E-05
0,68447	4,3794E-05	9,4449E-05	0,000875752	0,00010681	2,2255E-05
0,71819	1,6645E-05	4,9449E-05	0,000631191	5,029E-05	1,3341E-05
0,75192	1,7445E-05	8,1348E-05	0,000920241	8,9465E-05	9,0798E-06

# RAO HEAVE

11,36 knot

Frekuensi (Hz)	0	45	90	135	180
0,01	1,00132382	1,00131202	1,00105619	1,00052178	1,00053644
0,04372	1,01944494	1,0196296	1,01432621	1,01340234	1,01282215
0,07745	1,02101839	1,04318023	1,04461372	1,01231337	0,99106038
0,11117	0,95633769	0,97485745	1,02608323	0,97461039	1,08870006
0,14489	1,1716156	1,27417839	0,97348702	1,66109705	1,74166024
0,17862	0,07403202	0,31121513	1,06269789	0,4321613	0,00551085
0,21234	0,0414345	0,07499481	1,31932366	0,04730427	0,04400351
0,24606	0,01914455	0,0315487	0,88273621	0,03149541	0,01115113
0,27979	0,00659095	0,01654438	0,36107135	0,00645188	0,00804921
0,31351	0,00481967	0,00929187	0,176954	0,00822783	0,0039774
0,34724	0,00101369	0,00492446	0,0942991	0,00259017	0,00059187
0,38096	9,9933E-05	0,00165774	0,05303376	0,00118442	0,00031359
0,41468	0,00011797	0,00220907	0,03029634	0,00167228	0,0001511
0,44841	3,3612E-05	0,00105789	0,01714051	0,00053642	0,00015295
0,48213	0,00011471	0,00023623	0,00874859	0,0001112	2,3923E-05
0,51585	0,00014353	0,0003674	0,00532183	0,00033032	0,00013282
0,54958	0,00012122	0,00038736	0,00292092	0,00035166	0,00013723
0,5833	3,3251E-05	0,00027696	0,00137288	0,00024932	3,9595E-05
0,61702	6,1702E-05	0,00016595	0,00069273	0,00014749	5,6932E-05
0,65075	6,152E-05	0,00013534	0,00099595	0,00011775	2,1764E-05
0,68447	4,6627E-05	0,00012523	0,00087495	0,00013132	3,8959E-05
0,71819	2,5269E-05	0,00012793	0,00063079	0,00010201	2,0982E-05
0,75192	1,784E-05	5,0009E-05	0,00092057	5,3967E-05	1,0338E-05

## RAO HEAVE

11,7 knot

Frekuensi (Hz)	0	45	90	135	180
0,01	1,00141656	1,00139701	1,00112319	1,00056398	1,00058699
0,04372	1,02103615	1,02102733	1,01526105	1,01442218	1,01399398
0,07745	1,02130735	1,04453337	1,04700875	1,0117377	0,98965245
0,11117	0,96727514	0,97497845	1,02356493	0,97706372	1,1062144
0,14489	1,18043113	1,31033242	0,96404231	1,70168495	1,73267686
0,17862	0,0725746	0,29372579	1,05181897	0,40453595	0,00886259
0,21234	0,04055547	0,07308006	1,31386685	0,04511271	0,04182837
0,24606	0,01893319	0,02922236	0,89117813	0,03176605	0,01111181
0,27979	0,00655612	0,01589369	0,3625623	0,00644097	0,00779819
0,31351	0,00470911	0,00949307	0,17729619	0,00825132	0,00394666
0,34724	0,00092988	0,00480992	0,09438726	0,00260788	0,00051613
0,38096	0,00016883	0,0018112	0,05305298	0,00121568	0,0005096
0,41468	0,00015459	0,00229403	0,03030046	0,00167547	0,00014935
0,44841	2,2919E-05	0,00101879	0,01713886	0,00062883	0,00014298
0,48213	9,47E-05	0,00031252	0,0087465	9,7369E-05	4,021E-05
0,51585	0,00013922	0,00031342	0,00532036	0,00033807	0,00012809
0,54958	8,2882E-05	0,00030939	0,00291993	0,00029574	6,6402E-05
0,5833	9,0055E-05	0,00026862	0,00137239	0,00024548	0,00011655
0,61702	0,00010761	0,00019265	0,00069223	0,00017699	8,3538E-05
0,65075	3,8579E-05	0,00013659	0,00099573	0,00013955	2,7186E-05
0,68447	4,3934E-05	0,0001102	0,0008745	9,6936E-05	5,5043E-05
0,71819	2,3631E-05	1,8236E-05	0,00063056	3,2749E-05	1,76E-05
0,75192	1,5557E-05	5,1179E-05	0,00092078	1,3287E-05	1,6048E-05

## Perhitungan Wave Spectrum JONSWAP

[illegible]

## Perhitungan Respon Spektrum

Response Spectrum roll 10,78 knot

Frekuensi (Hz)	0	45	90	135	180
0,01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
0,0427	2,22E-129	1,04E-123	5,23E-123	1,05E-123	3,55E-129
0,07541	3,95E-21	2,23E-17	3,85E-14	1,54E-16	1,16E-20
0,10811	1,04E-11	4,40E-05	2,60E-05	2,03E-05	2,24E-11
0,14082	5,65E-10	6,50E-03	6,62E-03	3,40E-03	1,10E-08
0,17352	6,46E-10	1,15E-02	5,25E-02	2,96E-03	2,00E-09
0,20622	2,40E-10	5,56E-04	4,27E-02	8,71E-05	2,72E-10
0,23893	9,93E-13	8,04E-04	3,82E-02	9,16E-04	6,91E-11
0,27163	1,74E-11	2,10E-04	2,42E-02	4,42E-04	8,47E-12
0,30434	1,86E-11	1,06E-05	1,24E-02	7,75E-06	3,33E-12
0,33704	1,22E-10	8,08E-05	5,20E-03	6,52E-05	9,54E-11
0,36974	2,08E-11	4,24E-06	2,00E-03	8,84E-06	2,81E-12
0,40245	2,33E-11	8,43E-06	3,12E-04	8,34E-06	4,25E-12
0,43515	2,80E-11	8,01E-07	2,50E-04	7,75E-07	3,05E-11
0,46786	1,32E-11	4,31E-07	1,36E-04	5,84E-07	1,66E-11
0,50056	9,56E-14	3,05E-07	8,09E-05	3,05E-07	9,46E-13
0,53326	3,22E-12	1,02E-07	4,76E-05	9,96E-08	2,61E-11
0,56597	1,72E-13	2,91E-08	2,70E-05	3,03E-08	1,02E-12
0,59867	3,57E-13	9,34E-09	1,41E-05	9,86E-09	1,28E-13
0,63138	1,39E-12	3,06E-09	6,72E-06	3,59E-09	1,25E-12
0,66408	4,45E-12	1,07E-09	2,86E-06	1,49E-09	4,28E-12
0,69678	5,63E-14	6,86E-10	1,65E-06	6,48E-10	1,04E-13
0,72949	3,96E-13	2,13E-10	7,67E-07	2,54E-10	1,54E-13

Response Spectrum roll 11,36 knot

Frekuensi (Hz)	0	45	90	135	180
0,01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
0,0427	2,67E-129	9,77E-124	4,96E-123	9,88E-124	4,39E-129
0,07541	4,51E-21	1,58E-16	3,78E-14	1,39E-16	1,29E-20
0,10811	1,18E-11	4,94E-05	2,90E-05	2,16E-05	2,74E-11
0,14082	6,64E-10	6,90E-03	6,96E-03	3,47E-03	1,19E-08
0,17352	7,48E-10	1,15E-02	5,38E-02	3,04E-03	1,97E-09
0,20622	1,66E-09	5,27E-04	4,32E-02	6,39E-05	9,66E-10
0,23893	6,05E-11	5,50E-04	3,85E-02	1,06E-03	8,38E-11
0,27163	3,59E-11	1,97E-04	2,43E-02	3,90E-04	2,68E-12
0,30434	1,50E-11	8,09E-06	1,24E-02	6,23E-06	2,66E-12
0,33704	6,23E-12	7,46E-05	5,21E-03	6,21E-05	8,91E-12
0,36974	4,74E-12	4,09E-06	2,00E-03	7,85E-06	1,22E-11
0,40245	2,58E-11	8,17E-06	3,12E-04	7,36E-06	4,04E-12
0,43515	1,23E-11	8,04E-07	2,50E-04	7,03E-07	1,19E-11
0,46786	3,50E-13	3,77E-07	1,36E-04	4,97E-07	1,49E-12
0,50056	6,24E-13	2,93E-07	8,09E-05	3,02E-07	8,46E-13
0,53326	1,26E-12	9,91E-08	4,76E-05	9,82E-08	5,18E-13
0,56597	3,21E-11	2,71E-08	2,70E-05	2,84E-08	4,01E-11
0,59867	1,67E-13	9,35E-09	1,41E-05	1,01E-08	3,80E-14
0,63138	1,21E-12	3,29E-09	6,72E-06	3,46E-09	2,04E-13
0,66408	9,28E-14	1,40E-09	2,86E-06	1,46E-09	5,33E-13
0,69678	5,47E-14	6,29E-10	1,65E-06	6,01E-10	5,15E-14
0,72949	8,11E-15	2,25E-10	7,67E-07	2,59E-10	5,59E-14

## Perhitungan Respon Spektrum

Response Spectrum roll 11,7 knot

Frekuensi (Hz)	0	45	90	135	180
0,01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
0,0427	2,91E-129	9,58E-124	4,82E-123	9,67E-124	4,39E-129
0,07541	5,03E-21	3,58E-16	3,75E-14	2,39E-16	1,28E-20
0,10811	1,29E-11	5,27E-05	3,09E-05	2,24E-05	3,06E-11
0,14082	7,28E-10	7,14E-03	7,16E-03	3,50E-03	1,21E-08
0,17352	8,33E-10	1,15E-02	5,45E-02	3,07E-03	1,99E-09
0,20622	2,54E-10	5,29E-04	4,35E-02	6,33E-05	1,98E-10
0,23893	5,13E-12	1,67E-03	3,87E-02	6,76E-05	5,71E-11
0,27163	1,39E-11	1,93E-04	2,43E-02	3,72E-04	2,05E-11
0,30434	1,21E-14	7,97E-06	1,24E-02	5,07E-06	3,95E-11
0,33704	9,66E-12	7,33E-05	5,21E-03	6,08E-05	4,92E-12
0,36974	4,11E-10	4,07E-06	2,00E-03	7,27E-06	4,41E-10
0,40245	2,32E-12	7,94E-06	3,12E-04	7,56E-06	3,54E-12
0,43515	8,98E-12	7,98E-07	2,50E-04	7,51E-07	4,62E-12
0,46786	1,99E-12	3,47E-07	1,36E-04	4,82E-07	7,00E-12
0,50056	3,51E-12	2,79E-07	8,09E-05	2,86E-07	5,07E-13
0,53326	4,85E-12	9,29E-08	4,76E-05	9,46E-08	7,89E-12
0,56597	1,81E-13	2,65E-08	2,70E-05	2,74E-08	2,15E-12
0,59867	2,43E-12	8,38E-09	1,41E-05	9,41E-09	3,57E-12
0,63138	8,80E-13	2,92E-09	6,72E-06	3,72E-09	1,83E-13
0,66408	2,01E-13	1,40E-09	2,86E-06	1,37E-09	7,14E-13
0,69678	2,11E-13	5,49E-10	1,65E-06	5,45E-10	3,79E-13
0,72949	8,77E-14	2,16E-10	7,67E-07	2,16E-10	4,91E-14

Response Spectrum pitch 10,78 knot

Frekuensi (Hz)	0	45	90	135	180
0,01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
0,0427	3,18E-121	1,76E-121	1,70E-120	1,39E-121	2,56E-121
0,07541	2,54E-11	1,07E-11	1,76E-11	8,41E-12	2,09E-11
0,10811	1,50E-01	6,94E-02	2,15E-02	5,14E-02	1,13E-01
0,14082	1,06E+01	7,71E+00	1,10E+00	4,41E+00	6,88E+00
0,17352	2,62E-01	3,27E+00	3,37E+00	2,51E+00	2,76E-01
0,20622	1,58E-02	2,89E-02	2,20E+00	1,58E-02	6,62E-03
0,23893	1,04E-03	6,89E-03	3,04E-01	2,70E-03	8,66E-04
0,27163	3,63E-04	6,51E-04	1,71E-02	4,25E-04	1,91E-04
0,30434	4,48E-06	1,80E-04	1,80E-03	3,71E-05	1,90E-06
0,33704	3,28E-06	1,91E-05	2,48E-04	8,85E-06	3,80E-06
0,36974	9,02E-07	9,44E-06	5,52E-05	3,63E-06	4,56E-07
0,40245	1,68E-07	1,14E-06	1,34E-05	4,86E-08	7,77E-08
0,43515	9,94E-08	3,54E-07	3,75E-06	1,22E-07	3,33E-08
0,46786	2,27E-08	1,76E-07	1,17E-06	5,08E-08	2,04E-08
0,50056	2,61E-09	6,11E-08	2,00E-07	9,21E-09	3,06E-09
0,53326	8,16E-10	2,06E-08	5,73E-08	5,71E-09	6,19E-10
0,56597	8,63E-10	5,09E-09	7,32E-09	1,56E-09	8,07E-10
0,59867	2,32E-10	2,09E-09	3,53E-09	1,13E-09	1,16E-10
0,63138	6,11E-10	8,23E-10	2,79E-09	7,60E-10	6,83E-10
0,66408	2,83E-11	1,19E-09	2,80E-09	9,42E-10	2,66E-11
0,69678	4,22E-11	5,62E-10	1,76E-09	5,93E-10	3,97E-11
0,72949	2,36E-11	4,27E-10	7,30E-10	5,61E-10	1,23E-11

## Perhitungan Respon Spektrum

Response Spectrum pitch 11,36 knot

Frekuensi (Hz)	0	45	90	135	180
0,01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
0,0427	3,04E-121	2,44E-121	1,97E-120	2,01E-121	2,31E-121
0,07541	2,76E-11	1,25E-11	2,04E-11	9,75E-12	2,22E-11
0,10811	1,55E-01	7,40E-02	2,43E-02	5,41E-02	1,14E-01
0,14082	1,07E+01	8,11E+00	1,19E+00	4,57E+00	7,05E+00
0,17352	2,11E-01	2,74E+00	3,50E+00	2,14E+00	2,20E-01
0,20622	1,53E-02	7,65E-03	2,30E+00	1,51E-02	7,03E-03
0,23893	8,58E-04	6,72E-03	3,32E-01	2,62E-03	7,16E-04
0,27163	3,29E-04	5,79E-04	1,82E-02	3,78E-04	1,88E-04
0,30434	4,13E-06	1,63E-04	1,87E-03	4,13E-05	1,30E-06
0,33704	2,69E-06	1,63E-05	2,50E-04	7,00E-06	2,93E-06
0,36974	7,87E-07	8,23E-06	5,47E-05	3,76E-06	4,01E-07
0,40245	1,76E-07	7,83E-07	1,32E-05	1,71E-07	7,82E-08
0,43515	3,30E-08	3,62E-07	3,69E-06	1,49E-07	1,49E-08
0,46786	1,46E-08	1,73E-07	1,16E-06	6,96E-08	1,28E-08
0,50056	1,69E-09	7,87E-08	1,96E-07	1,22E-08	2,05E-09
0,53326	3,28E-10	2,05E-08	5,65E-08	7,38E-09	1,58E-09
0,56597	1,70E-10	4,09E-09	7,19E-09	2,19E-09	1,97E-10
0,59867	1,48E-10	1,74E-09	3,49E-09	1,31E-09	1,04E-10
0,63138	5,56E-10	6,41E-10	2,76E-09	4,08E-10	2,46E-10
0,66408	5,38E-11	1,59E-09	2,77E-09	9,56E-10	8,42E-12
0,69678	6,80E-11	1,51E-09	1,75E-09	1,23E-09	3,40E-11
0,72949	2,23E-11	2,40E-10	7,33E-10	2,61E-10	1,94E-11

Response Spectrum pitch 11,7 knot

Frekuensi (Hz)	0	45	90	135	180
0,01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
0,0427	3,07E-121	2,97E-121	2,14E-120	2,50E-121	2,27E-121
0,07541	2,91E-11	1,37E-11	2,22E-11	1,07E-11	2,32E-11
0,10811	1,58E-01	7,67E-02	2,61E-02	5,57E-02	1,15E-01
0,14082	1,06E+01	8,37E+00	1,23E+00	4,69E+00	7,07E+00
0,17352	1,86E-01	2,48E+00	3,57E+00	1,95E+00	1,93E-01
0,20622	1,40E-02	1,97E-02	2,35E+00	6,84E-03	6,15E-03
0,23893	7,69E-04	6,62E-03	3,49E-01	2,96E-03	6,45E-04
0,27163	3,21E-04	5,70E-04	1,88E-02	3,60E-04	1,85E-04
0,30434	3,73E-06	1,64E-04	1,91E-03	4,21E-05	1,05E-06
0,33704	2,61E-06	1,51E-05	2,52E-04	6,66E-06	3,22E-06
0,36974	5,78E-07	9,28E-06	5,44E-05	3,71E-06	2,97E-07
0,40245	2,03E-07	9,21E-07	1,31E-05	6,46E-08	7,88E-08
0,43515	3,33E-08	2,91E-07	3,66E-06	1,12E-07	1,83E-08
0,46786	1,19E-08	1,99E-07	1,15E-06	7,35E-08	9,78E-09
0,50056	1,93E-09	7,10E-08	1,94E-07	1,46E-08	1,59E-09
0,53326	5,35E-10	1,36E-08	5,60E-08	6,11E-09	1,04E-09
0,56597	3,23E-09	3,99E-09	7,11E-09	2,39E-09	3,82E-09
0,59867	8,57E-10	1,57E-09	3,46E-09	1,22E-09	3,29E-10
0,63138	6,04E-11	1,01E-09	2,74E-09	1,11E-09	1,36E-10
0,66408	3,73E-11	1,18E-09	2,75E-09	7,35E-10	2,72E-10
0,69678	4,82E-11	3,22E-10	1,74E-09	2,97E-10	3,76E-11
0,72949	1,35E-11	2,28E-10	7,35E-10	1,24E-10	2,87E-11

## Perhitungan Respon Spektrum

Response Spectrum heave 10,78 knot

Frekuensi (Hz)	0	45	90	135	180
0,01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
0,0427	7,23E-120	7,24E-120	7,18E-120	7,16E-120	7,15E-120
0,07541	1,73E-11	1,80E-11	1,80E-11	1,70E-11	1,64E-11
0,10811	7,10E-03	7,65E-03	8,53E-03	7,59E-03	9,03E-03
0,14082	2,79E-01	3,19E-01	2,11E-01	5,49E-01	6,47E-01
0,17352	2,42E-03	4,86E-02	4,81E-01	9,66E-02	1,63E-06
0,20622	3,19E-04	1,14E-03	2,79E-01	3,81E-04	3,41E-04
0,23893	3,73E-05	1,03E-04	7,15E-02	1,01E-04	1,06E-05
0,27163	2,97E-06	1,61E-05	7,18E-03	2,09E-06	4,13E-06
0,30434	8,35E-07	3,46E-06	1,04E-03	2,52E-06	5,58E-07
0,33704	3,41E-08	5,30E-07	1,85E-04	1,40E-07	6,10E-09
0,36974	4,57E-10	5,11E-08	3,77E-05	2,24E-08	1,85E-09
0,40245	2,82E-10	4,70E-08	8,18E-06	2,54E-08	1,79E-10
0,43515	2,21E-10	6,50E-09	1,79E-06	2,22E-09	2,51E-10
0,46786	4,87E-11	2,51E-10	3,26E-07	1,38E-10	2,86E-12
0,50056	6,57E-11	2,87E-10	8,65E-08	2,33E-10	4,35E-11
0,53326	3,50E-11	3,38E-10	1,91E-08	2,86E-10	3,45E-11
0,56597	1,66E-12	1,34E-10	3,13E-09	1,24E-10	5,82E-13
0,59867	6,83E-12	6,90E-11	6,04E-10	5,54E-11	3,71E-12
0,63138	3,22E-12	1,28E-11	9,57E-10	7,30E-12	4,31E-12
0,66408	1,44E-12	6,69E-12	5,75E-10	8,55E-12	3,71E-13
0,69678	1,63E-13	1,44E-12	2,35E-10	1,49E-12	1,05E-13
0,72949	1,43E-13	3,10E-12	3,97E-10	3,75E-12	3,87E-14

Response Spectrum heave 11,36 knot

Frekuensi (Hz)	0	45	90	135	180
0,01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
0,0427	7,27E-120	7,27E-120	7,20E-120	7,18E-120	7,18E-120
0,07541	1,73E-11	1,81E-11	1,81E-11	1,70E-11	1,63E-11
0,10811	7,36E-03	7,64E-03	8,47E-03	7,64E-03	9,53E-03
0,14082	2,97E-01	3,51E-01	2,05E-01	5,96E-01	6,56E-01
0,17352	2,25E-03	3,98E-02	4,64E-01	7,68E-02	1,25E-05
0,20622	2,72E-04	8,91E-04	2,76E-01	3,54E-04	3,07E-04
0,23893	3,47E-05	9,43E-05	7,39E-02	9,40E-05	1,18E-05
0,27163	2,42E-06	1,53E-05	7,27E-03	2,32E-06	3,62E-06
0,30434	7,80E-07	2,90E-06	1,05E-03	2,27E-06	5,31E-07
0,33704	2,15E-08	5,06E-07	1,86E-04	1,40E-07	7,31E-09
0,36974	1,34E-10	3,69E-08	3,78E-05	1,88E-08	1,32E-09
0,40245	1,24E-10	4,35E-08	8,18E-06	2,49E-08	2,03E-10
0,43515	6,87E-12	6,81E-09	1,79E-06	1,75E-09	1,42E-10
0,46786	5,61E-11	2,38E-10	3,26E-07	5,27E-11	2,44E-12
0,50056	6,29E-11	4,12E-10	8,64E-08	3,33E-10	5,38E-11
0,53326	3,28E-11	3,35E-10	1,90E-08	2,76E-10	4,20E-11
0,56597	1,84E-12	1,27E-10	3,13E-09	1,03E-10	2,60E-12
0,59867	4,78E-12	3,46E-11	6,03E-10	2,73E-11	4,07E-12
0,63138	3,65E-12	1,77E-11	9,56E-10	1,34E-11	4,57E-13
0,66408	1,63E-12	1,18E-11	5,74E-10	1,29E-11	1,14E-12
0,69678	3,77E-13	9,65E-12	2,35E-10	6,14E-12	2,60E-13
0,72949	1,49E-13	1,17E-12	3,98E-10	1,37E-12	5,01E-14

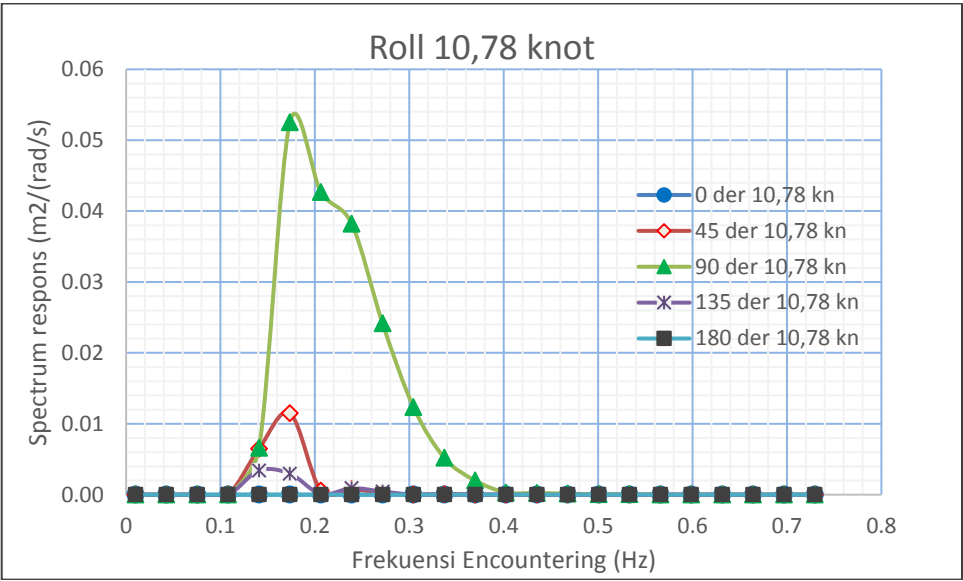


## Perhitungan Respon Spektrum

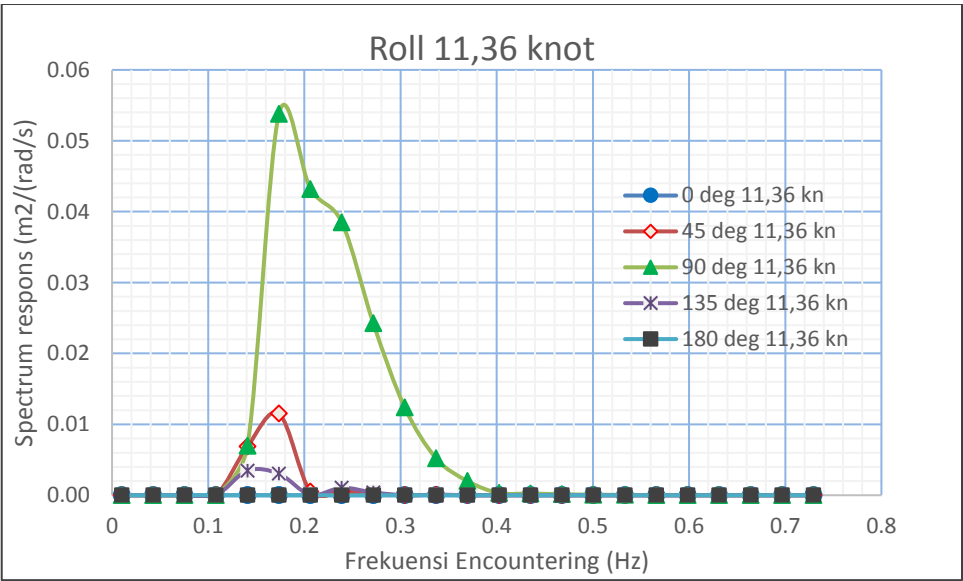
Response Spectrum 11,7  
heave knot

Frekuensi (Hz)	0	45	90	135	180
0,01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
0,0427	7,29E-120	7,29E-120	7,21E-120	7,20E-120	7,19E-120
0,07541	1,73E-11	1,81E-11	1,82E-11	1,70E-11	1,63E-11
0,10811	7,52E-03	7,65E-03	8,43E-03	7,68E-03	9,84E-03
0,14082	3,01E-01	3,71E-01	2,01E-01	6,26E-01	6,49E-01
0,17352	2,17E-03	3,55E-02	4,55E-01	6,73E-02	3,23E-05
0,20622	2,60E-04	8,46E-04	2,73E-01	3,22E-04	2,77E-04
0,23893	3,40E-05	8,09E-05	7,53E-02	9,56E-05	1,17E-05
0,27163	2,40E-06	1,41E-05	7,33E-03	2,31E-06	3,39E-06
0,30434	7,45E-07	3,03E-06	1,06E-03	2,29E-06	5,23E-07
0,33704	1,81E-08	4,83E-07	1,86E-04	1,42E-07	5,56E-09
0,36974	3,83E-10	4,40E-08	3,78E-05	1,98E-08	3,49E-09
0,40245	2,13E-10	4,69E-08	8,18E-06	2,50E-08	1,99E-10
0,43515	3,20E-12	6,31E-09	1,79E-06	2,41E-09	1,24E-10
0,46786	3,82E-11	4,16E-10	3,26E-07	4,04E-11	6,89E-12
0,50056	5,92E-11	3,00E-10	8,64E-08	3,49E-10	5,01E-11
0,53326	1,53E-11	2,14E-10	1,90E-08	1,95E-10	9,84E-12
0,56597	1,35E-11	1,20E-10	3,13E-09	1,00E-10	2,26E-11
0,59867	1,45E-11	4,66E-11	6,02E-10	3,93E-11	8,76E-12
0,63138	1,43E-12	1,80E-11	9,56E-10	1,88E-11	7,12E-13
0,66408	1,45E-12	9,10E-12	5,73E-10	7,04E-12	2,27E-12
0,69678	3,29E-13	1,96E-13	2,34E-10	6,32E-13	1,83E-13
0,72949	1,14E-13	1,23E-12	3,98E-10	8,28E-14	1,21E-13

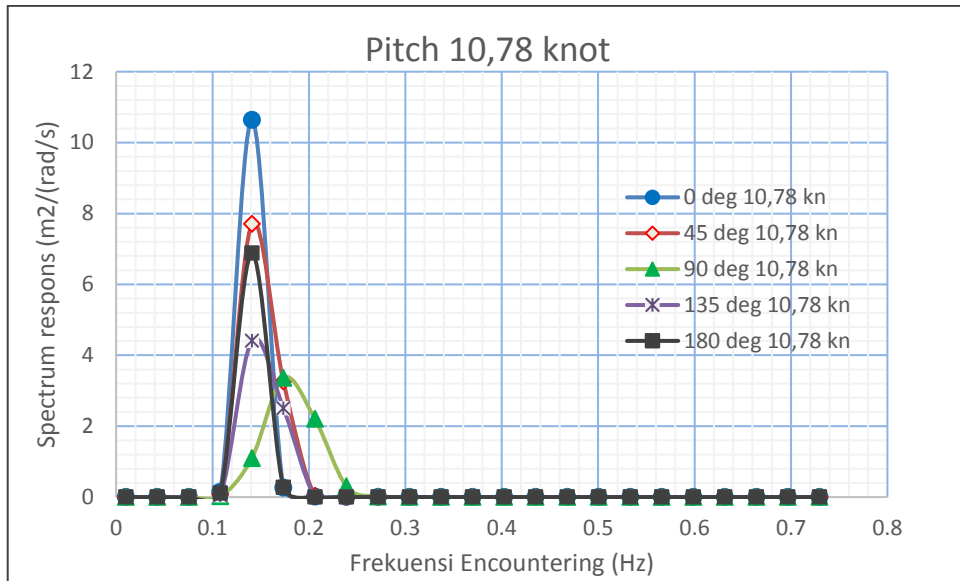
Kurva Spektrum respon



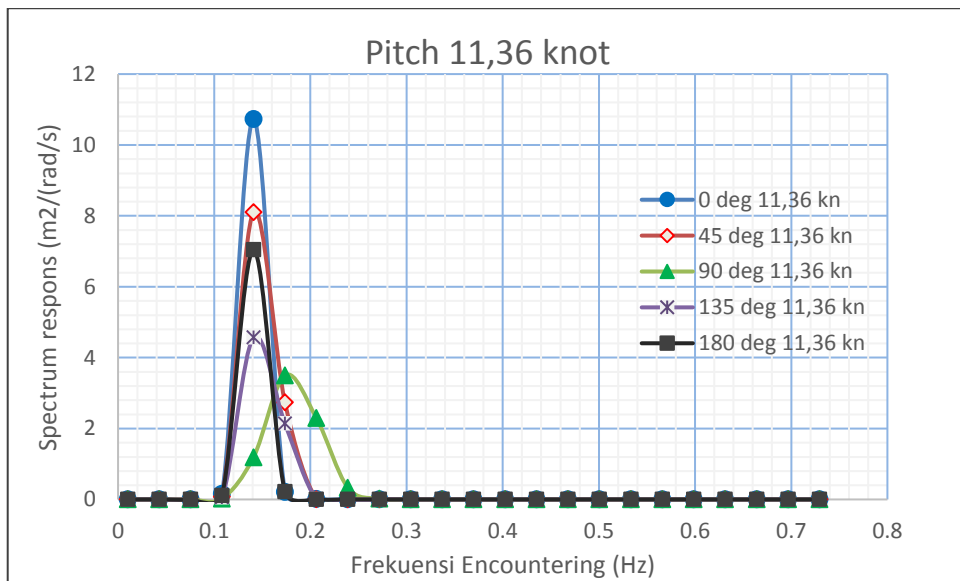
Kurva respon spektrum Roll pada kecepatan 10,78 knot



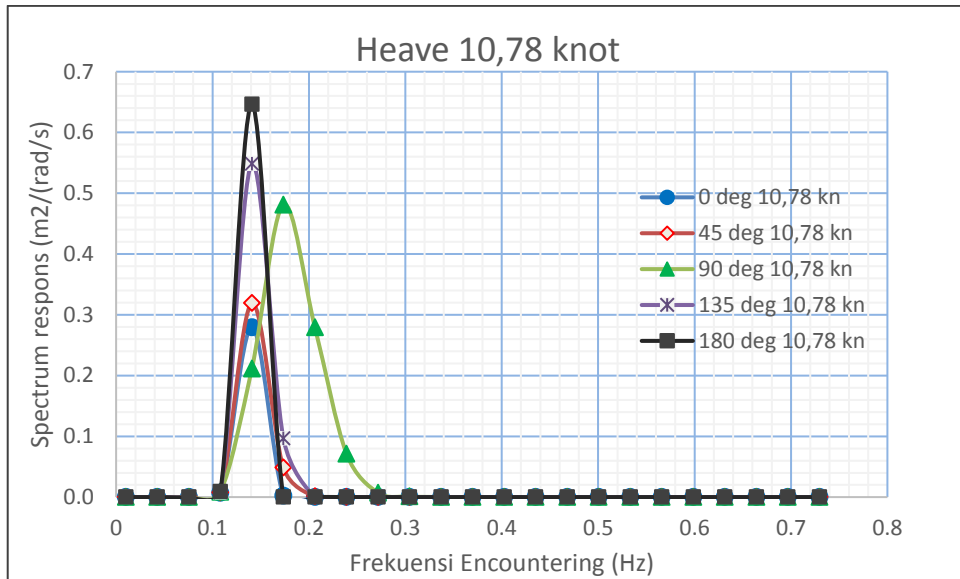
Kurva respon spektrum Roll pada kecepatan 11,36 knot



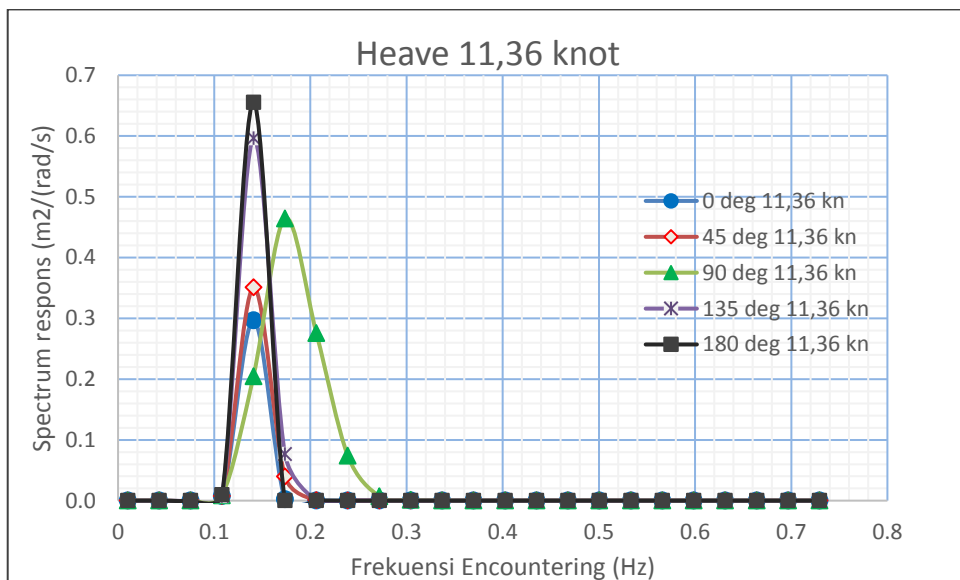
Kurva respon spektrum Pitch pada kecepatan 10,78 knot



Kurva respon spektrum Pitch pada kecepatan 11,36 knot



Kurva respon spektrum Heave pada kecepatan 10,78 knot



Kurva respon spektrum Heave pada kecepatan 11,36 knot

**LAMPIRAN F**  
**PERHITUNGAN SIGNIFICANT AMPLITUDE**

Amplitude significant Rolling 0° kecepatan 10,78 knot

We (rad/s)	S <sub>Cr</sub>	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	2,22E-129	8,88E-129	0,07546056	6,70E-130	0,0056943	5,06E-131
0,4866327	3,95E-21	7,89E-21	0,23681139	1,87E-21	0,05607963	4,43E-22
0,69850171	1,04E-11	4,17E-11	0,48790464	2,04E-11	0,23805094	9,93E-12
0,91037072	5,65E-10	1,13E-09	0,82877485	9,36E-10	0,68686775	7,76E-10
1,12230256	6,46E-10	2,59E-09	1,25956304	3,26E-09	1,58649904	4,10E-09
1,33417157	2,40E-10	4,80E-10	1,78001377	8,55E-10	3,16844903	1,52E-09
1,54604058	9,93E-13	3,97E-12	2,39024146	9,50E-12	5,71325426	2,27E-11
1,75797242	1,74E-11	3,47E-11	3,09046702	1,07E-10	9,5509864	3,32E-10
1,96984143	1,86E-11	7,45E-11	3,88027524	2,89E-10	15,056536	1,12E-09
2,18177327	1,22E-10	2,43E-10	4,76013458	1,16E-09	22,6588813	5,51E-09
2,39364227	2,08E-11	8,32E-11	5,72952334	4,77E-10	32,8274377	2,73E-09
2,60551128	2,33E-11	4,65E-11	6,78868905	3,16E-10	46,086299	2,14E-09
2,81744312	2,80E-11	1,12E-10	7,93798575	8,90E-10	63,0116178	7,07E-09
3,02931213	1,32E-11	2,63E-11	9,17673199	2,42E-10	84,2124101	2,22E-09
3,24118114	9,56E-14	3,82E-13	10,5052552	4,02E-12	110,360387	4,22E-11
3,45311298	3,22E-12	6,43E-12	11,9239893	7,67E-11	142,18152	9,15E-10
3,66498199	1,72E-13	6,87E-13	13,432093	9,23E-12	180,421122	1,24E-10
3,876851	3,57E-13	7,14E-13	15,0299737	1,07E-11	225,900108	1,61E-10
4,08878284	1,39E-12	5,57E-12	16,7181451	9,31E-11	279,496376	1,56E-09
4,30065185	4,45E-12	8,91E-12	18,4956063	1,65E-10	342,087453	3,05E-09
4,51252086	5,63E-14	2,25E-13	20,3628445	4,59E-12	414,645435	9,34E-11
4,7244527	3,96E-13	3,96E-13	22,3204533	8,84E-12	498,202635	1,97E-10
	sum	4,88E-09		8,9269E-09		3,3688E-08
	m0	3,4503E-10	m2	6,3054E-10	m4	2,3795E-09
	E^2	0,51573117				
	correction factor	0,69589426				
	Amplitude signifikan	2,5852E-05				

Amplitude significant Rolling 45° kecepatan 10,78 knot

We (rad/s)	S <sub>Cr</sub>	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	1,04E-123	4,14E-123	0,07546056	3,13E-124	0,0056943	2,36E-125
0,4866327	2,23E-17	4,46E-17	0,23681139	1,06E-17	0,05607963	2,50E-18
0,69850171	4,40E-05	1,76E-04	0,48790464	8,58E-05	0,23805094	4,19E-05
0,91037072	6,50E-03	1,30E-02	0,82877485	1,08E-02	0,68686775	8,93E-03
1,12230256	1,15E-02	4,60E-02	1,25956304	5,79E-02	1,58649904	7,30E-02
1,33417157	5,56E-04	1,11E-03	1,78001377	1,98E-03	3,16844903	3,52E-03
1,54604058	8,04E-04	3,22E-03	2,39024146	7,69E-03	5,71325426	1,84E-02
1,75797242	2,10E-04	4,19E-04	3,09046702	1,30E-03	9,5509864	4,01E-03
1,96984143	1,06E-05	4,26E-05	3,88027524	1,65E-04	15,056536	6,41E-04
2,18177327	8,08E-05	1,62E-04	4,76013458	7,69E-04	22,6588813	3,66E-03
2,39364227	4,24E-06	1,70E-05	5,72952334	9,73E-05	32,8274377	5,57E-04
2,60551128	8,43E-06	1,69E-05	6,78868905	1,14E-04	46,086299	7,77E-04
2,81744312	8,01E-07	3,20E-06	7,93798575	2,54E-05	63,0116178	2,02E-04
3,02931213	4,31E-07	8,63E-07	9,17673199	7,92E-06	84,2124101	7,26E-05
3,24118114	3,05E-07	1,22E-06	10,5052552	1,28E-05	110,360387	1,35E-04
3,45311298	1,02E-07	2,03E-07	11,9239893	2,42E-06	142,18152	2,89E-05
3,66498199	2,91E-08	1,16E-07	13,432093	1,56E-06	180,421122	2,10E-05
3,876851	9,34E-09	1,87E-08	15,0299737	2,81E-07	225,900108	4,22E-06
4,08878284	3,06E-09	1,22E-08	16,7181451	2,04E-07	279,496376	3,42E-06
4,30065185	1,07E-09	2,14E-09	18,4956063	3,96E-08	342,087453	7,32E-07
4,51252086	6,86E-10	2,74E-09	20,3628445	5,58E-08	414,645435	1,14E-06
4,7244527	2,13E-10	2,13E-10	22,3204533	4,75E-09	498,202635	1,06E-07
	sum	6,42E-02		0,08095925		0,11396527
	m0	0,00453213	m2	0,00571842	m4	0,00804975
	E^2	0,10366953				
	correction factor	0,94674731				
	Amplitude signifikan	0,12747208				

Amplitude significant Rolling 90° kecepatan 10,78 knot

We (rad/s)	S <sub>Cr</sub>	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	5,23E-123	2,09E-122	0,07546056	1,58E-123	0,0056943	1,19E-124
0,4866327	3,85E-14	7,70E-14	0,23681139	1,82E-14	0,05607963	4,32E-15
0,69850171	2,60E-05	1,04E-04	0,48790464	5,07E-05	0,23805094	2,48E-05
0,91037072	6,62E-03	1,32E-02	0,82877485	1,10E-02	0,68686775	9,09E-03
1,12230256	5,25E-02	2,10E-01	1,25956304	2,65E-01	1,58649904	3,33E-01
1,33417157	4,27E-02	8,53E-02	1,78001377	1,52E-01	3,16844903	2,70E-01
1,54604058	3,82E-02	1,53E-01	2,39024146	3,66E-01	5,71325426	8,74E-01
1,75797242	2,42E-02	4,83E-02	3,09046702	1,49E-01	9,5509864	4,62E-01
1,96984143	1,24E-02	4,95E-02	3,88027524	1,92E-01	15,056536	7,45E-01
2,18177327	5,20E-03	1,04E-02	4,76013458	4,95E-02	22,6588813	2,36E-01
2,39364227	2,00E-03	7,99E-03	5,72952334	4,58E-02	32,8274377	2,62E-01
2,60551128	3,12E-04	6,25E-04	6,78868905	4,24E-03	46,086299	2,88E-02
2,81744312	2,50E-04	1,00E-03	7,93798575	7,94E-03	63,0116178	6,30E-02
3,02931213	1,36E-04	2,72E-04	9,17673199	2,50E-03	84,2124101	2,29E-02
3,24118114	8,09E-05	3,24E-04	10,5052552	3,40E-03	110,360387	3,57E-02
3,45311298	4,76E-05	9,52E-05	11,9239893	1,13E-03	142,18152	1,35E-02
3,66498199	2,70E-05	1,08E-04	13,432093	1,45E-03	180,421122	1,95E-02
3,876851	1,41E-05	2,82E-05	15,0299737	4,24E-04	225,900108	6,37E-03
4,08878284	6,72E-06	2,69E-05	16,7181451	4,50E-04	279,496376	7,52E-03
4,30065185	2,86E-06	5,71E-06	18,4956063	1,06E-04	342,087453	1,95E-03
4,51252086	1,65E-06	6,60E-06	20,3628445	1,34E-04	414,645435	2,73E-03
4,7244527	7,67E-07	7,67E-07	22,3204533	1,71E-05	498,202635	3,82E-04
	sum	5,80E-01		1,25140224		3,3929085
	m0	0,04099378	m2	0,08839071	m4	0,23965244
	E^2	0,20473221				
	correction factor	0,89177788				
	Amplitude signifikan	0,36111514				



Amplitude significant Rolling 135° kecepatan 10,78 knot

We (rad/s)	S <sub>Cr</sub>	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	1,05E-123	4,19E-123	0,07546056	3,16E-124	0,0056943	2,38E-125
0,4866327	1,54E-16	3,09E-16	0,23681139	7,31E-17	0,05607963	1,73E-17
0,69850171	2,03E-05	8,13E-05	0,48790464	3,97E-05	0,23805094	1,94E-05
0,91037072	3,40E-03	6,81E-03	0,82877485	5,64E-03	0,68686775	4,68E-03
1,12230256	2,96E-03	1,19E-02	1,25956304	1,49E-02	1,58649904	1,88E-02
1,33417157	8,71E-05	1,74E-04	1,78001377	3,10E-04	3,16844903	5,52E-04
1,54604058	9,16E-04	3,66E-03	2,39024146	8,76E-03	5,71325426	2,09E-02
1,75797242	4,42E-04	8,84E-04	3,09046702	2,73E-03	9,5509864	8,44E-03
1,96984143	7,75E-06	3,10E-05	3,88027524	1,20E-04	15,056536	4,67E-04
2,18177327	6,52E-05	1,30E-04	4,76013458	6,21E-04	22,6588813	2,96E-03
2,39364227	8,84E-06	3,54E-05	5,72952334	2,03E-04	32,8274377	1,16E-03
2,60551128	8,34E-06	1,67E-05	6,78868905	1,13E-04	46,086299	7,68E-04
2,81744312	7,75E-07	3,10E-06	7,93798575	2,46E-05	63,0116178	1,95E-04
3,02931213	5,84E-07	1,17E-06	9,17673199	1,07E-05	84,2124101	9,84E-05
3,24118114	3,05E-07	1,22E-06	10,5052552	1,28E-05	110,360387	1,35E-04
3,45311298	9,96E-08	1,99E-07	11,9239893	2,38E-06	142,18152	2,83E-05
3,66498199	3,03E-08	1,21E-07	13,432093	1,63E-06	180,421122	2,19E-05
3,876851	9,86E-09	1,97E-08	15,0299737	2,97E-07	225,900108	4,46E-06
4,08878284	3,59E-09	1,44E-08	16,7181451	2,40E-07	279,496376	4,01E-06
4,30065185	1,49E-09	2,98E-09	18,4956063	5,51E-08	342,087453	1,02E-06
4,51252086	6,48E-10	2,59E-09	20,3628445	5,28E-08	414,645435	1,08E-06
4,7244527	2,54E-10	2,54E-10	22,3204533	5,68E-09	498,202635	1,27E-07
	sum	2,37E-02		0,03352593		0,05927557
	m0	0,00167312	m2	0,00236805	m4	0,00418683
	E^2	0,19948842				
	correction factor	0,89471313				
	Amplitude signifikan	0,0731944				

Amplitude significant Rolling 180° kecepatan 10,78 knot

We (rad/s)	S <sub>Cr</sub>	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	3,55E-129	1,42E-128	0,07546056	1,07E-129	0,0056943	8,10E-131
0,4866327	1,16E-20	2,32E-20	0,23681139	5,50E-21	0,05607963	1,30E-21
0,69850171	2,24E-11	8,96E-11	0,48790464	4,37E-11	0,23805094	2,13E-11
0,91037072	1,10E-08	2,20E-08	0,82877485	1,83E-08	0,68686775	1,51E-08
1,12230256	2,00E-09	8,01E-09	1,25956304	1,01E-08	1,58649904	1,27E-08
1,33417157	2,72E-10	5,43E-10	1,78001377	9,67E-10	3,16844903	1,72E-09
1,54604058	6,91E-11	2,76E-10	2,39024146	6,60E-10	5,71325426	1,58E-09
1,75797242	8,47E-12	1,69E-11	3,09046702	5,23E-11	9,5509864	1,62E-10
1,96984143	3,33E-12	1,33E-11	3,88027524	5,16E-11	15,056536	2,00E-10
2,18177327	9,54E-11	1,91E-10	4,76013458	9,08E-10	22,6588813	4,32E-09
2,39364227	2,81E-12	1,12E-11	5,72952334	6,44E-11	32,8274377	3,69E-10
2,60551128	4,25E-12	8,50E-12	6,78868905	5,77E-11	46,086299	3,92E-10
2,81744312	3,05E-11	1,22E-10	7,93798575	9,69E-10	63,0116178	7,69E-09
3,02931213	1,66E-11	3,32E-11	9,17673199	3,04E-10	84,2124101	2,79E-09
3,24118114	9,46E-13	3,78E-12	10,5052552	3,98E-11	110,360387	4,18E-10
3,45311298	2,61E-11	5,22E-11	11,9239893	6,22E-10	142,18152	7,42E-09
3,66498199	1,02E-12	4,10E-12	13,432093	5,50E-11	180,421122	7,39E-10
3,876851	1,28E-13	2,56E-13	15,0299737	3,85E-12	225,900108	5,79E-11
4,08878284	1,25E-12	4,98E-12	16,7181451	8,33E-11	279,496376	1,39E-09
4,30065185	4,28E-12	8,57E-12	18,4956063	1,58E-10	342,087453	2,93E-09
4,51252086	1,04E-13	4,15E-13	20,3628445	8,45E-12	414,645435	1,72E-10
4,7244527	1,54E-13	1,54E-13	22,3204533	3,44E-12	498,202635	7,68E-11
	sum	3,14E-08		3,3415E-08		6,0311E-08
	m0	2,2204E-09	m2	2,3602E-09	m4	4,26E-09
	E^2	0,41106512				
	correction factor	0,76742093				
	Amplitude signifikan	7,2324E-05				

Amplitude significant Pitching 0° kecepatan 10,78 knot

We (rad/s)	S $\zeta$ r	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	3,18E-121	1,27E-120	0,07546056	9,60E-122	0,0056943	7,24E-123
0,4866327	2,54E-11	5,08E-11	0,23681139	1,20E-11	0,05607963	2,85E-12
0,69850171	1,50E-01	6,00E-01	0,48790464	2,93E-01	0,23805094	1,43E-01
0,91037072	1,06E+01	2,13E+01	0,82877485	1,76E+01	0,68686775	1,46E+01
1,12230256	2,62E-01	1,05E+00	1,25956304	1,32E+00	1,58649904	1,66E+00
1,33417157	1,58E-02	3,16E-02	1,78001377	5,63E-02	3,16844903	1,00E-01
1,54604058	1,04E-03	4,14E-03	2,39024146	9,90E-03	5,71325426	2,37E-02
1,75797242	3,63E-04	7,25E-04	3,09046702	2,24E-03	9,5509864	6,93E-03
1,96984143	4,48E-06	1,79E-05	3,88027524	6,96E-05	15,056536	2,70E-04
2,18177327	3,28E-06	6,56E-06	4,76013458	3,12E-05	22,6588813	1,49E-04
2,39364227	9,02E-07	3,61E-06	5,72952334	2,07E-05	32,8274377	1,18E-04
2,60551128	1,68E-07	3,36E-07	6,78868905	2,28E-06	46,086299	1,55E-05
2,81744312	9,94E-08	3,97E-07	7,93798575	3,15E-06	63,0116178	2,50E-05
3,02931213	2,27E-08	4,54E-08	9,17673199	4,16E-07	84,2124101	3,82E-06
3,24118114	2,61E-09	1,04E-08	10,5052552	1,10E-07	110,360387	1,15E-06
3,45311298	8,16E-10	1,63E-09	11,9239893	1,95E-08	142,18152	2,32E-07
3,66498199	8,63E-10	3,45E-09	13,432093	4,64E-08	180,421122	6,23E-07
3,876851	2,32E-10	4,64E-10	15,0299737	6,98E-09	225,900108	1,05E-07
4,08878284	6,11E-10	2,44E-09	16,7181451	4,08E-08	279,496376	6,83E-07
4,30065185	2,83E-11	5,66E-11	18,4956063	1,05E-09	342,087453	1,93E-08
4,51252086	4,22E-11	1,69E-10	20,3628445	3,44E-09	414,645435	7,01E-08
4,7244527	2,36E-11	2,36E-11	22,3204533	5,27E-10	498,202635	1,18E-08
	sum	2,30E+01		19,3293565		16,5638484
	m0	1,62301518	m2	1,36529688	m4	1,16995983
	E^2	0,01834097				
	correction factor	0,99078708				
	Amplitude signifikan	2,52447817				

Amplitude significant Pitching 45° kecepatan 10,78 knot

We (rad/s)	SÇr	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	1,76E-121	7,03E-121	0,07546056	5,30E-122	0,0056943	4,00E-123
0,4866327	1,07E-11	2,14E-11	0,23681139	5,07E-12	0,05607963	1,20E-12
0,69850171	6,94E-02	2,77E-01	0,48790464	1,35E-01	0,23805094	6,60E-02
0,91037072	7,71E+00	1,54E+01	0,82877485	1,28E+01	0,68686775	1,06E+01
1,12230256	3,27E+00	1,31E+01	1,25956304	1,65E+01	1,58649904	2,07E+01
1,33417157	2,89E-02	5,78E-02	1,78001377	1,03E-01	3,16844903	1,83E-01
1,54604058	6,89E-03	2,76E-02	2,39024146	6,59E-02	5,71325426	1,57E-01
1,75797242	6,51E-04	1,30E-03	3,09046702	4,02E-03	9,5509864	1,24E-02
1,96984143	1,80E-04	7,19E-04	3,88027524	2,79E-03	15,056536	1,08E-02
2,18177327	1,91E-05	3,83E-05	4,76013458	1,82E-04	22,6588813	8,68E-04
2,39364227	9,44E-06	3,78E-05	5,72952334	2,16E-04	32,8274377	1,24E-03
2,60551128	1,14E-06	2,27E-06	6,78868905	1,54E-05	46,086299	1,05E-04
2,81744312	3,54E-07	1,42E-06	7,93798575	1,13E-05	63,0116178	8,93E-05
3,02931213	1,76E-07	3,51E-07	9,17673199	3,22E-06	84,2124101	2,96E-05
3,24118114	6,11E-08	2,44E-07	10,5052552	2,57E-06	110,360387	2,70E-05
3,45311298	2,06E-08	4,12E-08	11,9239893	4,92E-07	142,18152	5,86E-06
3,66498199	5,09E-09	2,04E-08	13,432093	2,73E-07	180,421122	3,67E-06
3,876851	2,09E-09	4,19E-09	15,0299737	6,29E-08	225,900108	9,45E-07
4,08878284	8,23E-10	3,29E-09	16,7181451	5,50E-08	279,496376	9,20E-07
4,30065185	1,19E-09	2,37E-09	18,4956063	4,39E-08	342,087453	8,12E-07
4,51252086	5,62E-10	2,25E-09	20,3628445	4,57E-08	414,645435	9,31E-07
4,7244527	4,27E-10	4,27E-10	22,3204533	9,54E-09	498,202635	2,13E-07
	sum	2,88E+01		29,5444822		31,7504283
	m0	2,03743365	m2	2,08682526	m4	2,24263859
	E^2	0,0469199				
	correction factor	0,97625822				
	Amplitude signifikan	2,78699657				

Amplitude significant Pitching 90° kecepatan 10,78 knot

We (rad/s)	S <sub>Cr</sub>	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	1,70E-120	6,80E-120	0,07546056	5,13E-121	0,0056943	3,87E-122
0,4866327	1,76E-11	3,51E-11	0,23681139	8,32E-12	0,05607963	1,97E-12
0,69850171	2,15E-02	8,58E-02	0,48790464	4,19E-02	0,23805094	2,04E-02
0,91037072	1,10E+00	2,20E+00	0,82877485	1,82E+00	0,68686775	1,51E+00
1,12230256	3,37E+00	1,35E+01	1,25956304	1,70E+01	1,58649904	2,14E+01
1,33417157	2,20E+00	4,41E+00	1,78001377	7,85E+00	3,16844903	1,40E+01
1,54604058	3,04E-01	1,22E+00	2,39024146	2,91E+00	5,71325426	6,96E+00
1,75797242	1,71E-02	3,42E-02	3,09046702	1,06E-01	9,5509864	3,26E-01
1,96984143	1,80E-03	7,21E-03	3,88027524	2,80E-02	15,056536	1,09E-01
2,18177327	2,48E-04	4,95E-04	4,76013458	2,36E-03	22,6588813	1,12E-02
2,39364227	5,52E-05	2,21E-04	5,72952334	1,26E-03	32,8274377	7,24E-03
2,60551128	1,34E-05	2,68E-05	6,78868905	1,82E-04	46,086299	1,24E-03
2,81744312	3,75E-06	1,50E-05	7,93798575	1,19E-04	63,0116178	9,46E-04
3,02931213	1,17E-06	2,35E-06	9,17673199	2,15E-05	84,2124101	1,98E-04
3,24118114	2,00E-07	7,98E-07	10,5052552	8,38E-06	110,360387	8,81E-05
3,45311298	5,73E-08	1,15E-07	11,9239893	1,37E-06	142,18152	1,63E-05
3,66498199	7,32E-09	2,93E-08	13,432093	3,93E-07	180,421122	5,28E-06
3,876851	3,53E-09	7,07E-09	15,0299737	1,06E-07	225,900108	1,60E-06
4,08878284	2,79E-09	1,11E-08	16,7181451	1,86E-07	279,496376	3,12E-06
4,30065185	2,80E-09	5,59E-09	18,4956063	1,03E-07	342,087453	1,91E-06
4,51252086	1,76E-09	7,02E-09	20,3628445	1,43E-07	414,645435	2,91E-06
4,7244527	7,30E-10	7,30E-10	22,3204533	1,63E-08	498,202635	3,64E-07
	sum	2,14E+01		29,7132824		44,2658691
	m0	1,51246487	m2	2,09874818	m4	3,12664589
	E^2	0,06855616				
	correction factor	0,96511338				
	Amplitude signifikan	2,37383747				

Amplitude significant Pitching 135° kecepatan 10,78 knot

We (rad/s)	S <sub>Cr</sub>	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	1,39E-121	5,55E-121	0,07546056	4,19E-122	0,0056943	3,16E-123
0,4866327	8,41E-12	1,68E-11	0,23681139	3,98E-12	0,05607963	9,43E-13
0,69850171	5,14E-02	2,06E-01	0,48790464	1,00E-01	0,23805094	4,89E-02
0,91037072	4,41E+00	8,82E+00	0,82877485	7,31E+00	0,68686775	6,06E+00
1,12230256	2,51E+00	1,00E+01	1,25956304	1,26E+01	1,58649904	1,59E+01
1,33417157	1,58E-02	3,15E-02	1,78001377	5,61E-02	3,16844903	9,99E-02
1,54604058	2,70E-03	1,08E-02	2,39024146	2,58E-02	5,71325426	6,16E-02
1,75797242	4,25E-04	8,49E-04	3,09046702	2,62E-03	9,5509864	8,11E-03
1,96984143	3,71E-05	1,48E-04	3,88027524	5,76E-04	15,056536	2,24E-03
2,18177327	8,85E-06	1,77E-05	4,76013458	8,43E-05	22,6588813	4,01E-04
2,39364227	3,63E-06	1,45E-05	5,72952334	8,31E-05	32,8274377	4,76E-04
2,60551128	4,86E-08	9,72E-08	6,78868905	6,60E-07	46,086299	4,48E-06
2,81744312	1,22E-07	4,87E-07	7,93798575	3,87E-06	63,0116178	3,07E-05
3,02931213	5,08E-08	1,02E-07	9,17673199	9,33E-07	84,2124101	8,56E-06
3,24118114	9,21E-09	3,68E-08	10,5052552	3,87E-07	110,360387	4,06E-06
3,45311298	5,71E-09	1,14E-08	11,9239893	1,36E-07	142,18152	1,62E-06
3,66498199	1,56E-09	6,24E-09	13,432093	8,38E-08	180,421122	1,13E-06
3,876851	1,13E-09	2,26E-09	15,0299737	3,39E-08	225,900108	5,10E-07
4,08878284	7,60E-10	3,04E-09	16,7181451	5,08E-08	279,496376	8,50E-07
4,30065185	9,42E-10	1,88E-09	18,4956063	3,49E-08	342,087453	6,45E-07
4,51252086	5,93E-10	2,37E-09	20,3628445	4,83E-08	414,645435	9,84E-07
4,7244527	5,61E-10	5,61E-10	22,3204533	1,25E-08	498,202635	2,79E-07
	sum	1,91E+01		20,1415549		22,2070249
	m0	1,34984082	m2	1,42266516	m4	1,56855619
	E^2	0,04407735				
	correction factor	0,97771297				
	Amplitude signifikan	2,27186568				

Amplitude significant Pitching 180° kecepatan 10,78 knot

We (rad/s)	SÇr	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	2,56E-121	1,03E-120	0,07546056	7,74E-122	0,0056943	5,84E-123
0,4866327	2,09E-11	4,17E-11	0,23681139	9,88E-12	0,05607963	2,34E-12
0,69850171	1,13E-01	4,52E-01	0,48790464	2,21E-01	0,23805094	1,08E-01
0,91037072	6,88E+00	1,38E+01	0,82877485	1,14E+01	0,68686775	9,45E+00
1,12230256	2,76E-01	1,10E+00	1,25956304	1,39E+00	1,58649904	1,75E+00
1,33417157	6,62E-03	1,32E-02	1,78001377	2,36E-02	3,16844903	4,19E-02
1,54604058	8,66E-04	3,46E-03	2,39024146	8,28E-03	5,71325426	1,98E-02
1,75797242	1,91E-04	3,83E-04	3,09046702	1,18E-03	9,5509864	3,66E-03
1,96984143	1,90E-06	7,59E-06	3,88027524	2,94E-05	15,056536	1,14E-04
2,18177327	3,80E-06	7,59E-06	4,76013458	3,61E-05	22,6588813	1,72E-04
2,39364227	4,56E-07	1,82E-06	5,72952334	1,05E-05	32,8274377	5,99E-05
2,60551128	7,77E-08	1,55E-07	6,78868905	1,05E-06	46,086299	7,16E-06
2,81744312	3,33E-08	1,33E-07	7,93798575	1,06E-06	63,0116178	8,38E-06
3,02931213	2,04E-08	4,08E-08	9,17673199	3,74E-07	84,2124101	3,44E-06
3,24118114	3,06E-09	1,22E-08	10,5052552	1,29E-07	110,360387	1,35E-06
3,45311298	6,19E-10	1,24E-09	11,9239893	1,48E-08	142,18152	1,76E-07
3,66498199	8,07E-10	3,23E-09	13,432093	4,33E-08	180,421122	5,82E-07
3,876851	1,16E-10	2,32E-10	15,0299737	3,48E-09	225,900108	5,23E-08
4,08878284	6,83E-10	2,73E-09	16,7181451	4,57E-08	279,496376	7,64E-07
4,30065185	2,66E-11	5,32E-11	18,4956063	9,85E-10	342,087453	1,82E-08
4,51252086	3,97E-11	1,59E-10	20,3628445	3,23E-09	414,645435	6,58E-08
4,7244527	1,23E-11	1,23E-11	22,3204533	2,75E-10	498,202635	6,14E-09
	sum	1,53E+01		13,0490048		11,37644
	m0	1,08313466	m2	0,9216947	m4	0,80355588
	E^2	0,02394196				
	correction factor	0,9879565				
	Amplitude signifikan	2,05640687				

Amplitude significant Heaving 0° kecepatan 10,78 knot

We (rad/s)	S <sub>Cr</sub>	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	7,23E-120	2,89E-119	0,07546056	2,18E-120	0,0056943	1,65E-121
0,4866327	1,73E-11	3,45E-11	0,23681139	8,17E-12	0,05607963	1,94E-12
0,69850171	7,10E-03	2,84E-02	0,48790464	1,38E-02	0,23805094	6,76E-03
0,91037072	2,79E-01	5,59E-01	0,82877485	4,63E-01	0,68686775	3,84E-01
1,12230256	2,42E-03	9,70E-03	1,25956304	1,22E-02	1,58649904	1,54E-02
1,33417157	3,19E-04	6,38E-04	1,78001377	1,14E-03	3,16844903	2,02E-03
1,54604058	3,73E-05	1,49E-04	2,39024146	3,57E-04	5,71325426	8,52E-04
1,75797242	2,97E-06	5,94E-06	3,09046702	1,84E-05	9,5509864	5,68E-05
1,96984143	8,35E-07	3,34E-06	3,88027524	1,30E-05	15,056536	5,03E-05
2,18177327	3,41E-08	6,82E-08	4,76013458	3,24E-07	22,6588813	1,54E-06
2,39364227	4,57E-10	1,83E-09	5,72952334	1,05E-08	32,8274377	6,00E-08
2,60551128	2,82E-10	5,64E-10	6,78868905	3,83E-09	46,086299	2,60E-08
2,81744312	2,21E-10	8,82E-10	7,93798575	7,00E-09	63,0116178	5,56E-08
3,02931213	4,87E-11	9,74E-11	9,17673199	8,94E-10	84,2124101	8,20E-09
3,24118114	6,57E-11	2,63E-10	10,5052552	2,76E-09	110,360387	2,90E-08
3,45311298	3,50E-11	7,00E-11	11,9239893	8,35E-10	142,18152	9,96E-09
3,66498199	1,66E-12	6,65E-12	13,432093	8,93E-11	180,421122	1,20E-09
3,876851	6,83E-12	1,37E-11	15,0299737	2,05E-10	225,900108	3,09E-09
4,08878284	3,22E-12	1,29E-11	16,7181451	2,15E-10	279,496376	3,60E-09
4,30065185	1,44E-12	2,87E-12	18,4956063	5,32E-11	342,087453	9,83E-10
4,51252086	1,63E-13	6,54E-13	20,3628445	1,33E-11	414,645435	2,71E-10
4,7244527	1,43E-13	1,43E-13	22,3204533	3,19E-12	498,202635	7,11E-11
	sum	5,97E-01		0,49048067		0,40875999
	m0	0,04219671	m2	0,03464428	m4	0,02887208
	E^2	0,01484065				
	correction factor	0,99255194				
	Amplitude signifikan	0,40777684				



Amplitude significant Heaving 45° kecepatan 10,78 knot

We (rad/s)	S $\zeta$ r	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	7,24E-120	2,90E-119	0,07546056	2,19E-120	0,0056943	1,65E-121
0,4866327	1,80E-11	3,59E-11	0,23681139	8,51E-12	0,05607963	2,01E-12
0,69850171	7,65E-03	3,06E-02	0,48790464	1,49E-02	0,23805094	7,28E-03
0,91037072	3,19E-01	6,38E-01	0,82877485	5,29E-01	0,68686775	4,39E-01
1,12230256	4,86E-02	1,94E-01	1,25956304	2,45E-01	1,58649904	3,08E-01
1,33417157	1,14E-03	2,28E-03	1,78001377	4,05E-03	3,16844903	7,22E-03
1,54604058	1,03E-04	4,11E-04	2,39024146	9,81E-04	5,71325426	2,35E-03
1,75797242	1,61E-05	3,21E-05	3,09046702	9,93E-05	9,5509864	3,07E-04
1,96984143	3,46E-06	1,39E-05	3,88027524	5,38E-05	15,056536	2,09E-04
2,18177327	5,30E-07	1,06E-06	4,76013458	5,05E-06	22,6588813	2,40E-05
2,39364227	5,11E-08	2,04E-07	5,72952334	1,17E-06	32,8274377	6,70E-06
2,60551128	4,70E-08	9,40E-08	6,78868905	6,38E-07	46,086299	4,33E-06
2,81744312	6,50E-09	2,60E-08	7,93798575	2,06E-07	63,0116178	1,64E-06
3,02931213	2,51E-10	5,03E-10	9,17673199	4,61E-09	84,2124101	4,23E-08
3,24118114	2,87E-10	1,15E-09	10,5052552	1,20E-08	110,360387	1,26E-07
3,45311298	3,38E-10	6,75E-10	11,9239893	8,05E-09	142,18152	9,60E-08
3,66498199	1,34E-10	5,37E-10	13,432093	7,21E-09	180,421122	9,69E-08
3,876851	6,90E-11	1,38E-10	15,0299737	2,07E-09	225,900108	3,12E-08
4,08878284	1,28E-11	5,13E-11	16,7181451	8,58E-10	279,496376	1,43E-08
4,30065185	6,69E-12	1,34E-11	18,4956063	2,47E-10	342,087453	4,57E-09
4,51252086	1,44E-12	5,77E-12	20,3628445	1,17E-10	414,645435	2,39E-09
4,7244527	3,10E-12	3,10E-12	22,3204533	6,93E-11	498,202635	1,55E-09
	sum	8,66E-01		0,79390576		0,76408077
	m0	0,06116958	m2	0,05607621	m4	0,05396957
	E^2	0,04748283				
	correction factor	0,97596986				
	Amplitude signifikan	0,48276321				

Amplitude significant Heaving 90° kecepatan 10,78 knot

We (rad/s)	S $\zeta$ r	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	7,18E-120	2,87E-119	0,07546056	2,17E-120	0,0056943	1,63E-121
0,4866327	1,80E-11	3,60E-11	0,23681139	8,51E-12	0,05607963	2,02E-12
0,69850171	8,53E-03	3,41E-02	0,48790464	1,66E-02	0,23805094	8,12E-03
0,91037072	2,11E-01	4,23E-01	0,82877485	3,50E-01	0,68686775	2,90E-01
1,12230256	4,81E-01	1,92E+00	1,25956304	2,42E+00	1,58649904	3,05E+00
1,33417157	2,79E-01	5,59E-01	1,78001377	9,95E-01	3,16844903	1,77E+00
1,54604058	7,15E-02	2,86E-01	2,39024146	6,84E-01	5,71325426	1,64E+00
1,75797242	7,18E-03	1,44E-02	3,09046702	4,44E-02	9,5509864	1,37E-01
1,96984143	1,04E-03	4,18E-03	3,88027524	1,62E-02	15,056536	6,29E-02
2,18177327	1,85E-04	3,70E-04	4,76013458	1,76E-03	22,6588813	8,39E-03
2,39364227	3,77E-05	1,51E-04	5,72952334	8,65E-04	32,8274377	4,95E-03
2,60551128	8,18E-06	1,64E-05	6,78868905	1,11E-04	46,086299	7,54E-04
2,81744312	1,79E-06	7,15E-06	7,93798575	5,68E-05	63,0116178	4,51E-04
3,02931213	3,26E-07	6,53E-07	9,17673199	5,99E-06	84,2124101	5,50E-05
3,24118114	8,65E-08	3,46E-07	10,5052552	3,64E-06	110,360387	3,82E-05
3,45311298	1,91E-08	3,81E-08	11,9239893	4,54E-07	142,18152	5,42E-06
3,66498199	3,13E-09	1,25E-08	13,432093	1,68E-07	180,421122	2,26E-06
3,876851	6,04E-10	1,21E-09	15,0299737	1,82E-08	225,900108	2,73E-07
4,08878284	9,57E-10	3,83E-09	16,7181451	6,40E-08	279,496376	1,07E-06
4,30065185	5,75E-10	1,15E-09	18,4956063	2,13E-08	342,087453	3,93E-07
4,51252086	2,35E-10	9,40E-10	20,3628445	1,91E-08	414,645435	3,90E-07
4,7244527	3,97E-10	3,97E-10	22,3204533	8,87E-09	498,202635	1,98E-07
	sum	3,25E+00		4,53290459		6,97161294
	m0	0,22922479	m2	0,32017416	m4	0,49242826
	E^2	0,09182821				
	correction factor	0,95298048				
	Amplitude signifikan	0,91252504				

Amplitude significant Heaving 135° kecepatan 10,78 knot

We (rad/s)	S $\zeta$ r	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	7,16E-120	2,86E-119	0,07546056	2,16E-120	0,0056943	1,63E-121
0,4866327	1,70E-11	3,40E-11	0,23681139	8,06E-12	0,05607963	1,91E-12
0,69850171	7,59E-03	3,03E-02	0,48790464	1,48E-02	0,23805094	7,22E-03
0,91037072	5,49E-01	1,10E+00	0,82877485	9,10E-01	0,68686775	7,54E-01
1,12230256	9,66E-02	3,86E-01	1,25956304	4,87E-01	1,58649904	6,13E-01
1,33417157	3,81E-04	7,61E-04	1,78001377	1,36E-03	3,16844903	2,41E-03
1,54604058	1,01E-04	4,03E-04	2,39024146	9,63E-04	5,71325426	2,30E-03
1,75797242	2,09E-06	4,18E-06	3,09046702	1,29E-05	9,5509864	3,99E-05
1,96984143	2,52E-06	1,01E-05	3,88027524	3,91E-05	15,056536	1,52E-04
2,18177327	1,40E-07	2,79E-07	4,76013458	1,33E-06	22,6588813	6,32E-06
2,39364227	2,24E-08	8,97E-08	5,72952334	5,14E-07	32,8274377	2,95E-06
2,60551128	2,54E-08	5,08E-08	6,78868905	3,45E-07	46,086299	2,34E-06
2,81744312	2,22E-09	8,87E-09	7,93798575	7,04E-08	63,0116178	5,59E-07
3,02931213	1,38E-10	2,76E-10	9,17673199	2,54E-09	84,2124101	2,33E-08
3,24118114	2,33E-10	9,33E-10	10,5052552	9,80E-09	110,360387	1,03E-07
3,45311298	2,86E-10	5,72E-10	11,9239893	6,82E-09	142,18152	8,13E-08
3,66498199	1,24E-10	4,96E-10	13,432093	6,67E-09	180,421122	8,96E-08
3,876851	5,54E-11	1,11E-10	15,0299737	1,66E-09	225,900108	2,50E-08
4,08878284	7,30E-12	2,92E-11	16,7181451	4,88E-10	279,496376	8,16E-09
4,30065185	8,55E-12	1,71E-11	18,4956063	3,16E-10	342,087453	5,85E-09
4,51252086	1,49E-12	5,97E-12	20,3628445	1,21E-10	414,645435	2,47E-09
4,7244527	3,75E-12	3,75E-12	22,3204533	8,38E-11	498,202635	1,87E-09
	sum	1,52E+00		1,41328973		1,3788178
	m0	0,10702884	m2	0,09982536	m4	0,0973905
	E^2	0,04398563				
	correction factor	0,97775987				
	Amplitude significan	0,63975341				

Amplitude significant Heaving 180° kecepatan 10,78 knot

We (rad/s)	S $\zeta$ r	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	7,15E-120	2,86E-119	0,07546056	2,16E-120	0,0056943	1,63E-121
0,4866327	1,64E-11	3,27E-11	0,23681139	7,74E-12	0,05607963	1,83E-12
0,69850171	9,03E-03	3,61E-02	0,48790464	1,76E-02	0,23805094	8,60E-03
0,91037072	6,47E-01	1,29E+00	0,82877485	1,07E+00	0,68686775	8,88E-01
1,12230256	1,63E-06	6,52E-06	1,25956304	8,21E-06	1,58649904	1,03E-05
1,33417157	3,41E-04	6,82E-04	1,78001377	1,21E-03	3,16844903	2,16E-03
1,54604058	1,06E-05	4,24E-05	2,39024146	1,01E-04	5,71325426	2,42E-04
1,75797242	4,13E-06	8,26E-06	3,09046702	2,55E-05	9,5509864	7,89E-05
1,96984143	5,58E-07	2,23E-06	3,88027524	8,66E-06	15,056536	3,36E-05
2,18177327	6,10E-09	1,22E-08	4,76013458	5,81E-08	22,6588813	2,77E-07
2,39364227	1,85E-09	7,42E-09	5,72952334	4,25E-08	32,8274377	2,44E-07
2,60551128	1,79E-10	3,58E-10	6,78868905	2,43E-09	46,086299	1,65E-08
2,81744312	2,51E-10	1,01E-09	7,93798575	7,98E-09	63,0116178	6,33E-08
3,02931213	2,86E-12	5,73E-12	9,17673199	5,26E-11	84,2124101	4,82E-10
3,24118114	4,35E-11	1,74E-10	10,5052552	1,83E-09	110,360387	1,92E-08
3,45311298	3,45E-11	6,90E-11	11,9239893	8,23E-10	142,18152	9,81E-09
3,66498199	5,82E-13	2,33E-12	13,432093	3,13E-11	180,421122	4,20E-10
3,876851	3,71E-12	7,43E-12	15,0299737	1,12E-10	225,900108	1,68E-09
4,08878284	4,31E-12	1,72E-11	16,7181451	2,88E-10	279,496376	4,82E-09
4,30065185	3,71E-13	7,42E-13	18,4956063	1,37E-11	342,087453	2,54E-10
4,51252086	1,05E-13	4,20E-13	20,3628445	8,55E-12	414,645435	1,74E-10
4,7244527	3,87E-14	3,87E-14	22,3204533	8,63E-13	498,202635	1,93E-11
	sum	1,33E+00		1,09072736		0,89936267
	m0	0,09394438	m2	0,07704171	m4	0,06352498
	E^2	0,00542747				
	correction factor	0,99728257				
	Amplitude signifikan	0,61134114				

Amplitude significant Rolling 0° kecepatan 11,36 knot

We (rad/s)	S <sub>Cr</sub>	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	2,67E-129	1,07E-128	0,07546056	8,07E-130	0,0056943	6,09E-131
0,4866327	4,51E-21	9,02E-21	0,23681139	2,14E-21	0,05607963	5,06E-22
0,69850171	1,18E-11	4,73E-11	0,48790464	2,31E-11	0,23805094	1,13E-11
0,91037072	6,64E-10	1,33E-09	0,82877485	1,10E-09	0,68686775	9,12E-10
1,12230256	7,48E-10	2,99E-09	1,25956304	3,77E-09	1,58649904	4,75E-09
1,33417157	1,66E-09	3,33E-09	1,78001377	5,92E-09	3,16844903	1,05E-08
1,54604058	6,05E-11	2,42E-10	2,39024146	5,79E-10	5,71325426	1,38E-09
1,75797242	3,59E-11	7,17E-11	3,09046702	2,22E-10	9,5509864	6,85E-10
1,96984143	1,50E-11	6,00E-11	3,88027524	2,33E-10	15,056536	9,04E-10
2,18177327	6,23E-12	1,25E-11	4,76013458	5,93E-11	22,6588813	2,82E-10
2,39364227	4,74E-12	1,90E-11	5,72952334	1,09E-10	32,8274377	6,22E-10
2,60551128	2,58E-11	5,17E-11	6,78868905	3,51E-10	46,086299	2,38E-09
2,81744312	1,23E-11	4,91E-11	7,93798575	3,90E-10	63,0116178	3,10E-09
3,02931213	3,50E-13	7,00E-13	9,17673199	6,42E-12	84,2124101	5,90E-11
3,24118114	6,24E-13	2,50E-12	10,5052552	2,62E-11	110,360387	2,76E-10
3,45311298	1,26E-12	2,52E-12	11,9239893	3,01E-11	142,18152	3,59E-10
3,66498199	3,21E-11	1,28E-10	13,432093	1,72E-09	180,421122	2,31E-08
3,876851	1,67E-13	3,33E-13	15,0299737	5,01E-12	225,900108	7,53E-11
4,08878284	1,21E-12	4,86E-12	16,7181451	8,12E-11	279,496376	1,36E-09
4,30065185	9,28E-14	1,86E-13	18,4956063	3,43E-12	342,087453	6,35E-11
4,51252086	5,47E-14	2,19E-13	20,3628445	4,46E-12	414,645435	9,08E-11
4,7244527	8,11E-15	8,11E-15	22,3204533	1,81E-13	498,202635	4,04E-12
	sum	8,34E-09		1,464E-08		5,0988E-08
	m0	5,8929E-10	m2	1,034E-09	m4	3,6014E-09
	E^2	0,49618541				
	correction factor	0,70979898				
	Amplitude signifikan	3,4461E-05				

Amplitude significant Rolling 45° kecepatan 11,36 knot

We (rad/s)	S $\zeta$ r	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	9,77E-124	3,91E-123	0,07546056	2,95E-124	0,0056943	2,23E-125
0,4866327	1,58E-16	3,16E-16	0,23681139	7,49E-17	0,05607963	1,77E-17
0,69850171	4,94E-05	1,97E-04	0,48790464	9,63E-05	0,23805094	4,70E-05
0,91037072	6,90E-03	1,38E-02	0,82877485	1,14E-02	0,68686775	9,48E-03
1,12230256	1,15E-02	4,60E-02	1,25956304	5,80E-02	1,58649904	7,30E-02
1,33417157	5,27E-04	1,05E-03	1,78001377	1,88E-03	3,16844903	3,34E-03
1,54604058	5,50E-04	2,20E-03	2,39024146	5,26E-03	5,71325426	1,26E-02
1,75797242	1,97E-04	3,94E-04	3,09046702	1,22E-03	9,5509864	3,76E-03
1,96984143	8,09E-06	3,24E-05	3,88027524	1,26E-04	15,056536	4,87E-04
2,18177327	7,46E-05	1,49E-04	4,76013458	7,11E-04	22,6588813	3,38E-03
2,39364227	4,09E-06	1,64E-05	5,72952334	9,38E-05	32,8274377	5,37E-04
2,60551128	8,17E-06	1,63E-05	6,78868905	1,11E-04	46,086299	7,53E-04
2,81744312	8,04E-07	3,21E-06	7,93798575	2,55E-05	63,0116178	2,03E-04
3,02931213	3,77E-07	7,54E-07	9,17673199	6,92E-06	84,2124101	6,35E-05
3,24118114	2,93E-07	1,17E-06	10,5052552	1,23E-05	110,360387	1,29E-04
3,45311298	9,91E-08	1,98E-07	11,9239893	2,36E-06	142,18152	2,82E-05
3,66498199	2,71E-08	1,08E-07	13,432093	1,46E-06	180,421122	1,96E-05
3,876851	9,35E-09	1,87E-08	15,0299737	2,81E-07	225,900108	4,22E-06
4,08878284	3,29E-09	1,32E-08	16,7181451	2,20E-07	279,496376	3,68E-06
4,30065185	1,40E-09	2,81E-09	18,4956063	5,19E-08	342,087453	9,61E-07
4,51252086	6,29E-10	2,52E-09	20,3628445	5,12E-08	414,645435	1,04E-06
4,7244527	2,25E-10	2,25E-10	22,3204533	5,02E-09	498,202635	1,12E-07
	sum	6,39E-02		0,0789758		0,10786465
	m0	0,0045145	m2	0,00557832	m4	0,00761884
	E^2	0,09529079				
	correction factor	0,95116203				
	Amplitude signifikan	0,12781721				

Amplitude significant Rolling 90° kecepatan 11,36 knot

We (rad/s)	S <sub>Cr</sub>	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	4,96E-123	1,98E-122	0,07546056	1,50E-123	0,0056943	1,13E-124
0,4866327	3,78E-14	7,56E-14	0,23681139	1,79E-14	0,05607963	4,24E-15
0,69850171	2,90E-05	1,16E-04	0,48790464	5,67E-05	0,23805094	2,76E-05
0,91037072	6,96E-03	1,39E-02	0,82877485	1,15E-02	0,68686775	9,56E-03
1,12230256	5,38E-02	2,15E-01	1,25956304	2,71E-01	1,58649904	3,41E-01
1,33417157	4,32E-02	8,64E-02	1,78001377	1,54E-01	3,16844903	2,74E-01
1,54604058	3,85E-02	1,54E-01	2,39024146	3,68E-01	5,71325426	8,80E-01
1,75797242	2,43E-02	4,85E-02	3,09046702	1,50E-01	9,5509864	4,63E-01
1,96984143	1,24E-02	4,96E-02	3,88027524	1,92E-01	15,056536	7,46E-01
2,18177327	5,21E-03	1,04E-02	4,76013458	4,96E-02	22,6588813	2,36E-01
2,39364227	2,00E-03	7,99E-03	5,72952334	4,58E-02	32,8274377	2,62E-01
2,60551128	3,12E-04	6,24E-04	6,78868905	4,24E-03	46,086299	2,88E-02
2,81744312	2,50E-04	9,99E-04	7,93798575	7,93E-03	63,0116178	6,30E-02
3,02931213	1,36E-04	2,72E-04	9,17673199	2,50E-03	84,2124101	2,29E-02
3,24118114	8,09E-05	3,24E-04	10,5052552	3,40E-03	110,360387	3,57E-02
3,45311298	4,76E-05	9,52E-05	11,9239893	1,14E-03	142,18152	1,35E-02
3,66498199	2,70E-05	1,08E-04	13,432093	1,45E-03	180,421122	1,95E-02
3,876851	1,41E-05	2,82E-05	15,0299737	4,24E-04	225,900108	6,37E-03
4,08878284	6,72E-06	2,69E-05	16,7181451	4,50E-04	279,496376	7,52E-03
4,30065185	2,86E-06	5,71E-06	18,4956063	1,06E-04	342,087453	1,95E-03
4,51252086	1,65E-06	6,60E-06	20,3628445	1,34E-04	414,645435	2,74E-03
4,7244527	7,67E-07	7,67E-07	22,3204533	1,71E-05	498,202635	3,82E-04
	sum	5,89E-01		1,26389171		3,41484546
	m0	0,04157085	m2	0,08927288	m4	0,24120192
	E^2	0,20517865				
	correction factor	0,89152754				
	Amplitude signifikan	0,36354585				

Amplitude significant Rolling 135° kecepatan 11,36 knot

We (rad/s)	S $\zeta$ r	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	9,88E-124	3,95E-123	0,07546056	2,98E-124	0,0056943	2,25E-125
0,4866327	1,39E-16	2,77E-16	0,23681139	6,56E-17	0,05607963	1,55E-17
0,69850171	2,16E-05	8,62E-05	0,48790464	4,21E-05	0,23805094	2,05E-05
0,91037072	3,47E-03	6,93E-03	0,82877485	5,75E-03	0,68686775	4,76E-03
1,12230256	3,04E-03	1,22E-02	1,25956304	1,53E-02	1,58649904	1,93E-02
1,33417157	6,39E-05	1,28E-04	1,78001377	2,27E-04	3,16844903	4,05E-04
1,54604058	1,06E-03	4,24E-03	2,39024146	1,01E-02	5,71325426	2,42E-02
1,75797242	3,90E-04	7,81E-04	3,09046702	2,41E-03	9,5509864	7,46E-03
1,96984143	6,23E-06	2,49E-05	3,88027524	9,67E-05	15,056536	3,75E-04
2,18177327	6,21E-05	1,24E-04	4,76013458	5,91E-04	22,6588813	2,82E-03
2,39364227	7,85E-06	3,14E-05	5,72952334	1,80E-04	32,8274377	1,03E-03
2,60551128	7,36E-06	1,47E-05	6,78868905	9,99E-05	46,086299	6,78E-04
2,81744312	7,03E-07	2,81E-06	7,93798575	2,23E-05	63,0116178	1,77E-04
3,02931213	4,97E-07	9,95E-07	9,17673199	9,13E-06	84,2124101	8,38E-05
3,24118114	3,02E-07	1,21E-06	10,5052552	1,27E-05	110,360387	1,33E-04
3,45311298	9,82E-08	1,96E-07	11,9239893	2,34E-06	142,18152	2,79E-05
3,66498199	2,84E-08	1,14E-07	13,432093	1,53E-06	180,421122	2,05E-05
3,876851	1,01E-08	2,02E-08	15,0299737	3,03E-07	225,900108	4,56E-06
4,08878284	3,46E-09	1,38E-08	16,7181451	2,31E-07	279,496376	3,87E-06
4,30065185	1,46E-09	2,91E-09	18,4956063	5,39E-08	342,087453	9,96E-07
4,51252086	6,01E-10	2,40E-09	20,3628445	4,90E-08	414,645435	9,97E-07
4,7244527	2,59E-10	2,59E-10	22,3204533	5,79E-09	498,202635	1,29E-07
	sum	2,45E-02		0,03488317		0,06149429
	m0	0,00173192	m2	0,00246391	m4	0,00434355
	E^2	0,19298869				
	correction factor	0,89833808				
	Amplitude signifikan	0,07477104				



Amplitude significant Rolling 180° kecepatan 11,36 knot

We (rad/s)	S <sub>Cr</sub>	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	4,39E-129	1,75E-128	0,07546056	1,32E-129	0,0056943	9,99E-131
0,4866327	1,29E-20	2,58E-20	0,23681139	6,10E-21	0,05607963	1,45E-21
0,69850171	2,74E-11	1,09E-10	0,48790464	5,34E-11	0,23805094	2,60E-11
0,91037072	1,19E-08	2,38E-08	0,82877485	1,97E-08	0,68686775	1,64E-08
1,12230256	1,97E-09	7,88E-09	1,25956304	9,93E-09	1,58649904	1,25E-08
1,33417157	9,66E-10	1,93E-09	1,78001377	3,44E-09	3,16844903	6,12E-09
1,54604058	8,38E-11	3,35E-10	2,39024146	8,01E-10	5,71325426	1,91E-09
1,75797242	2,68E-12	5,37E-12	3,09046702	1,66E-11	9,5509864	5,13E-11
1,96984143	2,66E-12	1,06E-11	3,88027524	4,12E-11	15,056536	1,60E-10
2,18177327	8,91E-12	1,78E-11	4,76013458	8,48E-11	22,6588813	4,04E-10
2,39364227	1,22E-11	4,88E-11	5,72952334	2,80E-10	32,8274377	1,60E-09
2,60551128	4,04E-12	8,08E-12	6,78868905	5,49E-11	46,086299	3,73E-10
2,81744312	1,19E-11	4,76E-11	7,93798575	3,78E-10	63,0116178	3,00E-09
3,02931213	1,49E-12	2,99E-12	9,17673199	2,74E-11	84,2124101	2,51E-10
3,24118114	8,46E-13	3,38E-12	10,5052552	3,55E-11	110,360387	3,73E-10
3,45311298	5,18E-13	1,04E-12	11,9239893	1,24E-11	142,18152	1,47E-10
3,66498199	4,01E-11	1,60E-10	13,432093	2,15E-09	180,421122	2,89E-08
3,876851	3,80E-14	7,60E-14	15,0299737	1,14E-12	225,900108	1,72E-11
4,08878284	2,04E-13	8,15E-13	16,7181451	1,36E-11	279,496376	2,28E-10
4,30065185	5,33E-13	1,07E-12	18,4956063	1,97E-11	342,087453	3,65E-10
4,51252086	5,15E-14	2,06E-13	20,3628445	4,20E-12	414,645435	8,54E-11
4,7244527	5,59E-14	5,59E-14	22,3204533	1,25E-12	498,202635	2,79E-11
	sum	3,44E-08		3,7075E-08		7,2945E-08
	m0	2,4277E-09	m2	2,6187E-09	m4	5,1524E-09
	E^2	0,45176702				
	correction factor	0,74042757				
	Amplitude signifikan	7,2965E-05				

Amplitude significant Pitch 0° kecepatan 11,36 knot

We (rad/s)	S <sub>cr</sub>	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	3,04E-121	1,22E-120	0,07546056	9,17E-122	0,0056943	6,92E-123
0,4866327	2,76E-11	5,51E-11	0,23681139	1,31E-11	0,05607963	3,09E-12
0,69850171	1,55E-01	6,20E-01	0,48790464	3,03E-01	0,23805094	1,48E-01
0,91037072	1,07E+01	2,15E+01	0,82877485	1,78E+01	0,68686775	1,47E+01
1,12230256	2,11E-01	8,43E-01	1,25956304	1,06E+00	1,58649904	1,34E+00
1,33417157	1,53E-02	3,06E-02	1,78001377	5,45E-02	3,16844903	9,70E-02
1,54604058	8,58E-04	3,43E-03	2,39024146	8,20E-03	5,71325426	1,96E-02
1,75797242	3,29E-04	6,59E-04	3,09046702	2,04E-03	9,5509864	6,29E-03
1,96984143	4,13E-06	1,65E-05	3,88027524	6,42E-05	15,056536	2,49E-04
2,18177327	2,69E-06	5,37E-06	4,76013458	2,56E-05	22,6588813	1,22E-04
2,39364227	7,87E-07	3,15E-06	5,72952334	1,80E-05	32,8274377	1,03E-04
2,60551128	1,76E-07	3,52E-07	6,78868905	2,39E-06	46,086299	1,62E-05
2,81744312	3,30E-08	1,32E-07	7,93798575	1,05E-06	63,0116178	8,32E-06
3,02931213	1,46E-08	2,92E-08	9,17673199	2,68E-07	84,2124101	2,46E-06
3,24118114	1,69E-09	6,76E-09	10,5052552	7,10E-08	110,360387	7,45E-07
3,45311298	3,28E-10	6,57E-10	11,9239893	7,83E-09	142,18152	9,34E-08
3,66498199	1,70E-10	6,79E-10	13,432093	9,11E-09	180,421122	1,22E-07
3,876851	1,48E-10	2,97E-10	15,0299737	4,46E-09	225,900108	6,70E-08
4,08878284	5,56E-10	2,22E-09	16,7181451	3,72E-08	279,496376	6,21E-07
4,30065185	5,38E-11	1,08E-10	18,4956063	1,99E-09	342,087453	3,68E-08
4,51252086	6,80E-11	2,72E-10	20,3628445	5,54E-09	414,645435	1,13E-07
4,7244527	2,23E-11	2,23E-11	22,3204533	4,97E-10	498,202635	1,11E-08
	sum	2,30E+01		19,210495		16,3450496
	m0	1,62123946	m2	1,3569013	m4	1,15450534
	E^2	0,01632099				
	correction factor	0,99180593				
	Amplitude significan	2,52569137				

Amplitude significant Pitch 45° kecepatan 11,36 knot

We (rad/s)	S <sub>Cr</sub>	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	2,44E-121	9,77E-121	0,07546056	7,37E-122	0,0056943	5,56E-123
0,4866327	1,25E-11	2,49E-11	0,23681139	5,90E-12	0,05607963	1,40E-12
0,69850171	7,40E-02	2,96E-01	0,48790464	1,44E-01	0,23805094	7,05E-02
0,91037072	8,11E+00	1,62E+01	0,82877485	1,34E+01	0,68686775	1,11E+01
1,12230256	2,74E+00	1,10E+01	1,25956304	1,38E+01	1,58649904	1,74E+01
1,33417157	7,65E-03	1,53E-02	1,78001377	2,72E-02	3,16844903	4,85E-02
1,54604058	6,72E-03	2,69E-02	2,39024146	6,42E-02	5,71325426	1,53E-01
1,75797242	5,79E-04	1,16E-03	3,09046702	3,58E-03	9,5509864	1,11E-02
1,96984143	1,63E-04	6,53E-04	3,88027524	2,54E-03	15,056536	9,84E-03
2,18177327	1,63E-05	3,26E-05	4,76013458	1,55E-04	22,6588813	7,40E-04
2,39364227	8,23E-06	3,29E-05	5,72952334	1,89E-04	32,8274377	1,08E-03
2,60551128	7,83E-07	1,57E-06	6,78868905	1,06E-05	46,086299	7,22E-05
2,81744312	3,62E-07	1,45E-06	7,93798575	1,15E-05	63,0116178	9,11E-05
3,02931213	1,73E-07	3,46E-07	9,17673199	3,17E-06	84,2124101	2,91E-05
3,24118114	7,87E-08	3,15E-07	10,5052552	3,31E-06	110,360387	3,48E-05
3,45311298	2,05E-08	4,11E-08	11,9239893	4,90E-07	142,18152	5,84E-06
3,66498199	4,09E-09	1,64E-08	13,432093	2,20E-07	180,421122	2,95E-06
3,876851	1,74E-09	3,48E-09	15,0299737	5,23E-08	225,900108	7,86E-07
4,08878284	6,41E-10	2,56E-09	16,7181451	4,29E-08	279,496376	7,17E-07
4,30065185	1,59E-09	3,18E-09	18,4956063	5,88E-08	342,087453	1,09E-06
4,51252086	1,51E-09	6,04E-09	20,3628445	1,23E-07	414,645435	2,50E-06
4,7244527	2,40E-10	2,40E-10	22,3204533	5,37E-09	498,202635	1,20E-07
	sum	2,75E+01		27,4875935		28,8250021
	m0	1,94346947	m2	1,94154036	m4	2,03600598
	E^2	0,04734408				
	correction factor	0,97604094				
	Amplitude signifikan	2,72136561				

Amplitude significant Pitch 90° kecepatan 11,36 knot

We (rad/s)	S <sub>Cr</sub>	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	1,97E-120	7,86E-120	0,07546056	5,93E-121	0,0056943	4,48E-122
0,4866327	2,04E-11	4,08E-11	0,23681139	9,66E-12	0,05607963	2,29E-12
0,69850171	2,43E-02	9,73E-02	0,48790464	4,75E-02	0,23805094	2,32E-02
0,91037072	1,19E+00	2,37E+00	0,82877485	1,96E+00	0,68686775	1,63E+00
1,12230256	3,50E+00	1,40E+01	1,25956304	1,76E+01	1,58649904	2,22E+01
1,33417157	2,30E+00	4,59E+00	1,78001377	8,18E+00	3,16844903	1,46E+01
1,54604058	3,32E-01	1,33E+00	2,39024146	3,17E+00	5,71325426	7,58E+00
1,75797242	1,82E-02	3,63E-02	3,09046702	1,12E-01	9,5509864	3,47E-01
1,96984143	1,87E-03	7,47E-03	3,88027524	2,90E-02	15,056536	1,13E-01
2,18177327	2,50E-04	5,01E-04	4,76013458	2,38E-03	22,6588813	1,13E-02
2,39364227	5,47E-05	2,19E-04	5,72952334	1,25E-03	32,8274377	7,18E-03
2,60551128	1,32E-05	2,65E-05	6,78868905	1,80E-04	46,086299	1,22E-03
2,81744312	3,69E-06	1,48E-05	7,93798575	1,17E-04	63,0116178	9,30E-04
3,02931213	1,16E-06	2,32E-06	9,17673199	2,13E-05	84,2124101	1,95E-04
3,24118114	1,96E-07	7,84E-07	10,5052552	8,23E-06	110,360387	8,65E-05
3,45311298	5,65E-08	1,13E-07	11,9239893	1,35E-06	142,18152	1,61E-05
3,66498199	7,19E-09	2,87E-08	13,432093	3,86E-07	180,421122	5,19E-06
3,876851	3,49E-09	6,98E-09	15,0299737	1,05E-07	225,900108	1,58E-06
4,08878284	2,76E-09	1,10E-08	16,7181451	1,85E-07	279,496376	3,08E-06
4,30065185	2,77E-09	5,53E-09	18,4956063	1,02E-07	342,087453	1,89E-06
4,51252086	1,75E-09	6,99E-09	20,3628445	1,42E-07	414,645435	2,90E-06
4,7244527	7,33E-10	7,33E-10	22,3204533	1,64E-08	498,202635	3,65E-07
	sum	2,24E+01		31,1451319		46,4851227
	m0	1,58483946	m2	2,19988449	m4	3,28339917
	E^2	0,0699832				
	correction factor	0,96437379				
	Amplitude significan	2,42810817				

Amplitude significant Pitch 135° kecepatan 11,36 knot

We (rad/s)	S <sub>Cr</sub>	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	2,01E-121	8,03E-121	0,07546056	6,06E-122	0,0056943	4,57E-123
0,4866327	9,75E-12	1,95E-11	0,23681139	4,62E-12	0,05607963	1,09E-12
0,69850171	5,41E-02	2,16E-01	0,48790464	1,06E-01	0,23805094	5,15E-02
0,91037072	4,57E+00	9,14E+00	0,82877485	7,57E+00	0,68686775	6,28E+00
1,12230256	2,14E+00	8,56E+00	1,25956304	1,08E+01	1,58649904	1,36E+01
1,33417157	1,51E-02	3,02E-02	1,78001377	5,37E-02	3,16844903	9,55E-02
1,54604058	2,62E-03	1,05E-02	2,39024146	2,50E-02	5,71325426	5,98E-02
1,75797242	3,78E-04	7,57E-04	3,09046702	2,34E-03	9,5509864	7,23E-03
1,96984143	4,13E-05	1,65E-04	3,88027524	6,42E-04	15,056536	2,49E-03
2,18177327	7,00E-06	1,40E-05	4,76013458	6,67E-05	22,6588813	3,17E-04
2,39364227	3,76E-06	1,50E-05	5,72952334	8,62E-05	32,8274377	4,94E-04
2,60551128	1,71E-07	3,41E-07	6,78868905	2,32E-06	46,086299	1,57E-05
2,81744312	1,49E-07	5,97E-07	7,93798575	4,74E-06	63,0116178	3,76E-05
3,02931213	6,96E-08	1,39E-07	9,17673199	1,28E-06	84,2124101	1,17E-05
3,24118114	1,22E-08	4,86E-08	10,5052552	5,11E-07	110,360387	5,37E-06
3,45311298	7,38E-09	1,48E-08	11,9239893	1,76E-07	142,18152	2,10E-06
3,66498199	2,19E-09	8,74E-09	13,432093	1,17E-07	180,421122	1,58E-06
3,876851	1,31E-09	2,61E-09	15,0299737	3,93E-08	225,900108	5,90E-07
4,08878284	4,08E-10	1,63E-09	16,7181451	2,73E-08	279,496376	4,56E-07
4,30065185	9,56E-10	1,91E-09	18,4956063	3,54E-08	342,087453	6,54E-07
4,51252086	1,23E-09	4,91E-09	20,3628445	1,00E-07	414,645435	2,04E-06
4,7244527	2,61E-10	2,61E-10	22,3204533	5,82E-09	498,202635	1,30E-07
	sum	1,80E+01		18,5499031		20,0831299
	m0	1,26873312	m2	1,31024149	m4	1,41853841
	E^2	0,04612532				
	correction factor	0,97666508				
	Amplitude significan	2,20019308				

Amplitude significant Pitch 180° kecepatan 11,36 knot

We (rad/s)	SÇr	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	2,31E-121	9,25E-121	0,07546056	6,98E-122	0,0056943	5,27E-123
0,4866327	2,22E-11	4,44E-11	0,23681139	1,05E-11	0,05607963	2,49E-12
0,69850171	1,14E-01	4,58E-01	0,48790464	2,23E-01	0,23805094	1,09E-01
0,91037072	7,05E+00	1,41E+01	0,82877485	1,17E+01	0,68686775	9,68E+00
1,12230256	2,20E-01	8,79E-01	1,25956304	1,11E+00	1,58649904	1,39E+00
1,33417157	7,03E-03	1,41E-02	1,78001377	2,50E-02	3,16844903	4,46E-02
1,54604058	7,16E-04	2,87E-03	2,39024146	6,85E-03	5,71325426	1,64E-02
1,75797242	1,88E-04	3,75E-04	3,09046702	1,16E-03	9,5509864	3,59E-03
1,96984143	1,30E-06	5,20E-06	3,88027524	2,02E-05	15,056536	7,83E-05
2,18177327	2,93E-06	5,85E-06	4,76013458	2,79E-05	22,6588813	1,33E-04
2,39364227	4,01E-07	1,60E-06	5,72952334	9,18E-06	32,8274377	5,26E-05
2,60551128	7,82E-08	1,56E-07	6,78868905	1,06E-06	46,086299	7,21E-06
2,81744312	1,49E-08	5,97E-08	7,93798575	4,74E-07	63,0116178	3,76E-06
3,02931213	1,28E-08	2,55E-08	9,17673199	2,34E-07	84,2124101	2,15E-06
3,24118114	2,05E-09	8,21E-09	10,5052552	8,62E-08	110,360387	9,06E-07
3,45311298	1,58E-09	3,16E-09	11,9239893	3,77E-08	142,18152	4,49E-07
3,66498199	1,97E-10	7,87E-10	13,432093	1,06E-08	180,421122	1,42E-07
3,876851	1,04E-10	2,08E-10	15,0299737	3,13E-09	225,900108	4,70E-08
4,08878284	2,46E-10	9,84E-10	16,7181451	1,65E-08	279,496376	2,75E-07
4,30065185	8,42E-12	1,68E-11	18,4956063	3,11E-10	342,087453	5,76E-09
4,51252086	3,40E-11	1,36E-10	20,3628445	2,77E-09	414,645435	5,63E-08
4,7244527	1,94E-11	1,94E-11	22,3204533	4,33E-10	498,202635	9,66E-09
	sum	1,54E+01		13,0450216		11,2497125
	m0	1,09119502	m2	0,92141336	m4	0,79460469
	E^2	0,02083584				
	correction factor	0,98952724				
	Amplitude signifikan	2,06732586				

Amplitude significant Heave 0° kecepatan 11,36 knot

We (rad/s)	S $\zeta$ r	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	7,27E-120	2,91E-119	0,07546056	2,19E-120	0,0056943	1,66E-121
0,4866327	1,73E-11	3,46E-11	0,23681139	8,20E-12	0,05607963	1,94E-12
0,69850171	7,36E-03	2,94E-02	0,48790464	1,44E-02	0,23805094	7,00E-03
0,91037072	2,97E-01	5,93E-01	0,82877485	4,92E-01	0,68686775	4,08E-01
1,12230256	2,25E-03	9,02E-03	1,25956304	1,14E-02	1,58649904	1,43E-02
1,33417157	2,72E-04	5,44E-04	1,78001377	9,68E-04	3,16844903	1,72E-03
1,54604058	3,47E-05	1,39E-04	2,39024146	3,32E-04	5,71325426	7,94E-04
1,75797242	2,42E-06	4,85E-06	3,09046702	1,50E-05	9,5509864	4,63E-05
1,96984143	7,80E-07	3,12E-06	3,88027524	1,21E-05	15,056536	4,70E-05
2,18177327	2,15E-08	4,29E-08	4,76013458	2,04E-07	22,6588813	9,72E-07
2,39364227	1,34E-10	5,36E-10	5,72952334	3,07E-09	32,8274377	1,76E-08
2,60551128	1,24E-10	2,48E-10	6,78868905	1,68E-09	46,086299	1,14E-08
2,81744312	6,87E-12	2,75E-11	7,93798575	2,18E-10	63,0116178	1,73E-09
3,02931213	5,61E-11	1,12E-10	9,17673199	1,03E-09	84,2124101	9,44E-09
3,24118114	6,29E-11	2,51E-10	10,5052552	2,64E-09	110,360387	2,78E-08
3,45311298	3,28E-11	6,56E-11	11,9239893	7,82E-10	142,18152	9,32E-09
3,66498199	1,84E-12	7,34E-12	13,432093	9,86E-11	180,421122	1,32E-09
3,876851	4,78E-12	9,56E-12	15,0299737	1,44E-10	225,900108	2,16E-09
4,08878284	3,65E-12	1,46E-11	16,7181451	2,44E-10	279,496376	4,08E-09
4,30065185	1,63E-12	3,26E-12	18,4956063	6,03E-11	342,087453	1,11E-09
4,51252086	3,77E-13	1,51E-12	20,3628445	3,07E-11	414,645435	6,25E-10
4,7244527	1,49E-13	1,49E-13	22,3204533	3,33E-12	498,202635	7,44E-11
	sum	6,32E-01		0,51875276		0,43143847
	m0	0,04467078	m2	0,03664124	m4	0,03047394
	E^2	0,01374742				
	correction factor	0,9931025				
	Amplitude signifikan	0,41979362				

Amplitude significant Heave 45° kecepatan 11,36 knot

We (rad/s)	S $\zeta$ r	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	7,27E-120	2,91E-119	0,07546056	2,20E-120	0,0056943	1,66E-121
0,4866327	1,81E-11	3,61E-11	0,23681139	8,55E-12	0,05607963	2,03E-12
0,69850171	7,64E-03	3,06E-02	0,48790464	1,49E-02	0,23805094	7,28E-03
0,91037072	3,51E-01	7,02E-01	0,82877485	5,82E-01	0,68686775	4,82E-01
1,12230256	3,98E-02	1,59E-01	1,25956304	2,01E-01	1,58649904	2,53E-01
1,33417157	8,91E-04	1,78E-03	1,78001377	3,17E-03	3,16844903	5,64E-03
1,54604058	9,43E-05	3,77E-04	2,39024146	9,02E-04	5,71325426	2,16E-03
1,75797242	1,53E-05	3,05E-05	3,09046702	9,44E-05	9,5509864	2,92E-04
1,96984143	2,90E-06	1,16E-05	3,88027524	4,50E-05	15,056536	1,75E-04
2,18177327	5,06E-07	1,01E-06	4,76013458	4,82E-06	22,6588813	2,29E-05
2,39364227	3,69E-08	1,48E-07	5,72952334	8,46E-07	32,8274377	4,85E-06
2,60551128	4,35E-08	8,70E-08	6,78868905	5,90E-07	46,086299	4,01E-06
2,81744312	6,81E-09	2,72E-08	7,93798575	2,16E-07	63,0116178	1,72E-06
3,02931213	2,38E-10	4,76E-10	9,17673199	4,36E-09	84,2124101	4,00E-08
3,24118114	4,12E-10	1,65E-09	10,5052552	1,73E-08	110,360387	1,82E-07
3,45311298	3,35E-10	6,69E-10	11,9239893	7,98E-09	142,18152	9,52E-08
3,66498199	1,27E-10	5,09E-10	13,432093	6,84E-09	180,421122	9,19E-08
3,876851	3,46E-11	6,92E-11	15,0299737	1,04E-09	225,900108	1,56E-08
4,08878284	1,77E-11	7,06E-11	16,7181451	1,18E-09	279,496376	1,97E-08
4,30065185	1,18E-11	2,35E-11	18,4956063	4,35E-10	342,087453	8,04E-09
4,51252086	9,65E-12	3,86E-11	20,3628445	7,86E-10	414,645435	1,60E-08
4,7244527	1,17E-12	1,17E-12	22,3204533	2,62E-11	498,202635	5,84E-10
	sum	8,94E-01		0,80137768		0,750327
	m0	0,06313334	m2	0,05660398	m4	0,0529981
	E^2	0,04242041				
	correction factor	0,97855996				
	Amplitude significan	0,49175276				



Amplitude significant Heave 90° kecepatan 11,36 knot

We (rad/s)	S $\zeta$ r	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	7,20E-120	2,88E-119	0,07546056	2,17E-120	0,0056943	1,64E-121
0,4866327	1,81E-11	3,62E-11	0,23681139	8,58E-12	0,05607963	2,03E-12
0,69850171	8,47E-03	3,39E-02	0,48790464	1,65E-02	0,23805094	8,06E-03
0,91037072	2,05E-01	4,10E-01	0,82877485	3,39E-01	0,68686775	2,81E-01
1,12230256	4,64E-01	1,86E+00	1,25956304	2,34E+00	1,58649904	2,95E+00
1,33417157	2,76E-01	5,51E-01	1,78001377	9,81E-01	3,16844903	1,75E+00
1,54604058	7,39E-02	2,95E-01	2,39024146	7,06E-01	5,71325426	1,69E+00
1,75797242	7,27E-03	1,45E-02	3,09046702	4,50E-02	9,5509864	1,39E-01
1,96984143	1,05E-03	4,21E-03	3,88027524	1,63E-02	15,056536	6,33E-02
2,18177327	1,86E-04	3,71E-04	4,76013458	1,77E-03	22,6588813	8,41E-03
2,39364227	3,78E-05	1,51E-04	5,72952334	8,65E-04	32,8274377	4,96E-03
2,60551128	8,18E-06	1,64E-05	6,78868905	1,11E-04	46,086299	7,54E-04
2,81744312	1,79E-06	7,15E-06	7,93798575	5,67E-05	63,0116178	4,50E-04
3,02931213	3,26E-07	6,52E-07	9,17673199	5,98E-06	84,2124101	5,49E-05
3,24118114	8,64E-08	3,46E-07	10,5052552	3,63E-06	110,360387	3,82E-05
3,45311298	1,90E-08	3,81E-08	11,9239893	4,54E-07	142,18152	5,41E-06
3,66498199	3,13E-09	1,25E-08	13,432093	1,68E-07	180,421122	2,26E-06
3,876851	6,03E-10	1,21E-09	15,0299737	1,81E-08	225,900108	2,72E-07
4,08878284	9,56E-10	3,82E-09	16,7181451	6,39E-08	279,496376	1,07E-06
4,30065185	5,74E-10	1,15E-09	18,4956063	2,12E-08	342,087453	3,93E-07
4,51252086	2,35E-10	9,39E-10	20,3628445	1,91E-08	414,645435	3,89E-07
4,7244527	3,98E-10	3,98E-10	22,3204533	8,87E-09	498,202635	1,98E-07
	sum	3,17E+00		4,44719343		6,88781241
	m0	0,22369926	m2	0,3141201	m4	0,48650915
	E^2	0,09335789				
	correction factor	0,95217756				
	Amplitude signifikan	0,9007001				

Amplitude significant Heave 135° kecepatan 11,36 knot

We (rad/s)	S $\zeta$ r	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	7,18E-120	2,87E-119	0,07546056	2,17E-120	0,0056943	1,64E-121
0,4866327	1,70E-11	3,40E-11	0,23681139	8,06E-12	0,05607963	1,91E-12
0,69850171	7,64E-03	3,06E-02	0,48790464	1,49E-02	0,23805094	7,27E-03
0,91037072	5,96E-01	1,19E+00	0,82877485	9,88E-01	0,68686775	8,19E-01
1,12230256	7,68E-02	3,07E-01	1,25956304	3,87E-01	1,58649904	4,87E-01
1,33417157	3,54E-04	7,09E-04	1,78001377	1,26E-03	3,16844903	2,25E-03
1,54604058	9,40E-05	3,76E-04	2,39024146	8,99E-04	5,71325426	2,15E-03
1,75797242	2,32E-06	4,65E-06	3,09046702	1,44E-05	9,5509864	4,44E-05
1,96984143	2,27E-06	9,09E-06	3,88027524	3,53E-05	15,056536	1,37E-04
2,18177327	1,40E-07	2,80E-07	4,76013458	1,33E-06	22,6588813	6,35E-06
2,39364227	1,88E-08	7,53E-08	5,72952334	4,32E-07	32,8274377	2,47E-06
2,60551128	2,49E-08	4,98E-08	6,78868905	3,38E-07	46,086299	2,30E-06
2,81744312	1,75E-09	7,00E-09	7,93798575	5,56E-08	63,0116178	4,41E-07
3,02931213	5,27E-11	1,05E-10	9,17673199	9,67E-10	84,2124101	8,87E-09
3,24118114	3,33E-10	1,33E-09	10,5052552	1,40E-08	110,360387	1,47E-07
3,45311298	2,76E-10	5,52E-10	11,9239893	6,58E-09	142,18152	7,85E-08
3,66498199	1,03E-10	4,13E-10	13,432093	5,55E-09	180,421122	7,45E-08
3,876851	2,73E-11	5,46E-11	15,0299737	8,21E-10	225,900108	1,23E-08
4,08878284	1,34E-11	5,35E-11	16,7181451	8,94E-10	279,496376	1,49E-08
4,30065185	1,29E-11	2,58E-11	18,4956063	4,78E-10	342,087453	8,84E-09
4,51252086	6,14E-12	2,45E-11	20,3628445	5,00E-10	414,645435	1,02E-08
4,7244527	1,37E-12	1,37E-12	22,3204533	3,05E-11	498,202635	6,81E-10
	sum	1,53E+00		1,39247146		1,31841024
	m0	0,10817286	m2	0,0983549	m4	0,09312371
	E^2	0,03968566				
	correction factor	0,97995629				
	Amplitude signifikan	0,64460826				

Amplitude significant Heave 180° kecepatan 11,36 knot

We (rad/s)	S $\zeta$ r	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	7,18E-120	2,87E-119	0,07546056	2,17E-120	0,0056943	1,63E-121
0,4866327	1,63E-11	3,26E-11	0,23681139	7,72E-12	0,05607963	1,83E-12
0,69850171	9,53E-03	3,81E-02	0,48790464	1,86E-02	0,23805094	9,08E-03
0,91037072	6,56E-01	1,31E+00	0,82877485	1,09E+00	0,68686775	9,01E-01
1,12230256	1,25E-05	5,00E-05	1,25956304	6,29E-05	1,58649904	7,93E-05
1,33417157	3,07E-04	6,13E-04	1,78001377	1,09E-03	3,16844903	1,94E-03
1,54604058	1,18E-05	4,71E-05	2,39024146	1,13E-04	5,71325426	2,69E-04
1,75797242	3,62E-06	7,23E-06	3,09046702	2,23E-05	9,5509864	6,91E-05
1,96984143	5,31E-07	2,13E-06	3,88027524	8,25E-06	15,056536	3,20E-05
2,18177327	7,31E-09	1,46E-08	4,76013458	6,96E-08	22,6588813	3,31E-07
2,39364227	1,32E-09	5,28E-09	5,72952334	3,03E-08	32,8274377	1,73E-07
2,60551128	2,03E-10	4,07E-10	6,78868905	2,76E-09	46,086299	1,88E-08
2,81744312	1,42E-10	5,69E-10	7,93798575	4,52E-09	63,0116178	3,59E-08
3,02931213	2,44E-12	4,88E-12	9,17673199	4,48E-11	84,2124101	4,11E-10
3,24118114	5,38E-11	2,15E-10	10,5052552	2,26E-09	110,360387	2,38E-08
3,45311298	4,20E-11	8,40E-11	11,9239893	1,00E-09	142,18152	1,19E-08
3,66498199	2,60E-12	1,04E-11	13,432093	1,40E-10	180,421122	1,88E-09
3,876851	4,07E-12	8,14E-12	15,0299737	1,22E-10	225,900108	1,84E-09
4,08878284	4,57E-13	1,83E-12	16,7181451	3,05E-11	279,496376	5,10E-10
4,30065185	1,14E-12	2,27E-12	18,4956063	4,21E-11	342,087453	7,78E-10
4,51252086	2,60E-13	1,04E-12	20,3628445	2,11E-11	414,645435	4,31E-10
4,7244527	5,01E-14	5,01E-14	22,3204533	1,12E-12	498,202635	2,50E-11
	sum	1,35E+00		1,10650204		0,91201686
	m0	0,09535095	m2	0,07815593	m4	0,06441879
	E^2	0,00554247				
	correction factor	0,99722492				
	Amplitude signifikan	0,61586516				

Amplitude significant Rolling 0° kecepatan 11,7 knot

We (rad/s)	S $\zeta$ r	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	2,91E-129	1,16E-128	0,07546056	8,79E-130	0,0056943	6,63E-131
0,4866327	5,03E-21	1,01E-20	0,23681139	2,38E-21	0,05607963	5,64E-22
0,69850171	1,29E-11	5,14E-11	0,48790464	2,51E-11	0,23805094	1,22E-11
0,91037072	7,28E-10	1,46E-09	0,82877485	1,21E-09	0,68686775	1,00E-09
1,12230256	8,33E-10	3,33E-09	1,25956304	4,20E-09	1,58649904	5,29E-09
1,33417157	2,54E-10	5,08E-10	1,78001377	9,05E-10	3,16844903	1,61E-09
1,54604058	5,13E-12	2,05E-11	2,39024146	4,91E-11	5,71325426	1,17E-10
1,75797242	1,39E-11	2,79E-11	3,09046702	8,62E-11	9,5509864	2,66E-10
1,96984143	1,21E-14	4,83E-14	3,88027524	1,88E-13	15,056536	7,28E-13
2,18177327	9,66E-12	1,93E-11	4,76013458	9,20E-11	22,6588813	4,38E-10
2,39364227	4,11E-10	1,64E-09	5,72952334	9,41E-09	32,8274377	5,39E-08
2,60551128	2,32E-12	4,64E-12	6,78868905	3,15E-11	46,086299	2,14E-10
2,81744312	8,98E-12	3,59E-11	7,93798575	2,85E-10	63,0116178	2,26E-09
3,02931213	1,99E-12	3,97E-12	9,17673199	3,65E-11	84,2124101	3,35E-10
3,24118114	3,51E-12	1,40E-11	10,5052552	1,47E-10	110,360387	1,55E-09
3,45311298	4,85E-12	9,70E-12	11,9239893	1,16E-10	142,18152	1,38E-09
3,66498199	1,81E-13	7,26E-13	13,432093	9,75E-12	180,421122	1,31E-10
3,876851	2,43E-12	4,86E-12	15,0299737	7,30E-11	225,900108	1,10E-09
4,08878284	8,80E-13	3,52E-12	16,7181451	5,89E-11	279,496376	9,84E-10
4,30065185	2,01E-13	4,02E-13	18,4956063	7,43E-12	342,087453	1,37E-10
4,51252086	2,11E-13	8,44E-13	20,3628445	1,72E-11	414,645435	3,50E-10
4,7244527	8,77E-14	8,77E-14	22,3204533	1,96E-12	498,202635	4,37E-11
	sum	7,14E-09		1,6755E-08		7,113E-08
	m0	5,041E-10	m2	1,1835E-09	m4	5,0241E-09
	E^2	0,4469655				
	correction factor	0,7436629				
	Amplitude signifikan	3,3394E-05				

Amplitude significant Rolling 45° kecepatan 11,7 knot

We (rad/s)	S $\zeta$ r	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	9,58E-124	3,83E-123	0,07546056	2,89E-124	0,0056943	2,18E-125
0,4866327	3,58E-16	7,16E-16	0,23681139	1,69E-16	0,05607963	4,01E-17
0,69850171	5,27E-05	2,11E-04	0,48790464	1,03E-04	0,23805094	5,02E-05
0,91037072	7,14E-03	1,43E-02	0,82877485	1,18E-02	0,68686775	9,81E-03
1,12230256	1,15E-02	4,60E-02	1,25956304	5,79E-02	1,58649904	7,29E-02
1,33417157	5,29E-04	1,06E-03	1,78001377	1,88E-03	3,16844903	3,35E-03
1,54604058	1,67E-03	6,68E-03	2,39024146	1,60E-02	5,71325426	3,81E-02
1,75797242	1,93E-04	3,87E-04	3,09046702	1,19E-03	9,5509864	3,69E-03
1,96984143	7,97E-06	3,19E-05	3,88027524	1,24E-04	15,056536	4,80E-04
2,18177327	7,33E-05	1,47E-04	4,76013458	6,98E-04	22,6588813	3,32E-03
2,39364227	4,07E-06	1,63E-05	5,72952334	9,34E-05	32,8274377	5,35E-04
2,60551128	7,94E-06	1,59E-05	6,78868905	1,08E-04	46,086299	7,32E-04
2,81744312	7,98E-07	3,19E-06	7,93798575	2,53E-05	63,0116178	2,01E-04
3,02931213	3,47E-07	6,93E-07	9,17673199	6,36E-06	84,2124101	5,84E-05
3,24118114	2,79E-07	1,12E-06	10,5052552	1,17E-05	110,360387	1,23E-04
3,45311298	9,29E-08	1,86E-07	11,9239893	2,22E-06	142,18152	2,64E-05
3,66498199	2,65E-08	1,06E-07	13,432093	1,42E-06	180,421122	1,91E-05
3,876851	8,38E-09	1,68E-08	15,0299737	2,52E-07	225,900108	3,79E-06
4,08878284	2,92E-09	1,17E-08	16,7181451	1,95E-07	279,496376	3,27E-06
4,30065185	1,40E-09	2,80E-09	18,4956063	5,17E-08	342,087453	9,57E-07
4,51252086	5,49E-10	2,20E-09	20,3628445	4,47E-08	414,645435	9,11E-07
4,7244527	2,16E-10	2,16E-10	22,3204533	4,83E-09	498,202635	1,08E-07
	sum	6,88E-02		0,08995801		0,13349674
	m0	0,00486016	m2	0,00635403	m4	0,00942932
	E^2	0,11901585				
	correction factor	0,93860756				
	Amplitude significan	0,13086977				

Amplitude significant Rolling 90° kecepatan 11,7 knot

We (rad/s)	S <sub>Cr</sub>	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	4,82E-123	1,93E-122	0,07546056	1,45E-123	0,0056943	1,10E-124
0,4866327	3,75E-14	7,49E-14	0,23681139	1,77E-14	0,05607963	4,20E-15
0,69850171	3,09E-05	1,24E-04	0,48790464	6,03E-05	0,23805094	2,94E-05
0,91037072	7,16E-03	1,43E-02	0,82877485	1,19E-02	0,68686775	9,84E-03
1,12230256	5,45E-02	2,18E-01	1,25956304	2,75E-01	1,58649904	3,46E-01
1,33417157	4,35E-02	8,70E-02	1,78001377	1,55E-01	3,16844903	2,76E-01
1,54604058	3,87E-02	1,55E-01	2,39024146	3,70E-01	5,71325426	8,84E-01
1,75797242	2,43E-02	4,86E-02	3,09046702	1,50E-01	9,5509864	4,65E-01
1,96984143	1,24E-02	4,96E-02	3,88027524	1,93E-01	15,056536	7,47E-01
2,18177327	5,21E-03	1,04E-02	4,76013458	4,96E-02	22,6588813	2,36E-01
2,39364227	2,00E-03	7,99E-03	5,72952334	4,58E-02	32,8274377	2,62E-01
2,60551128	3,12E-04	6,24E-04	6,78868905	4,24E-03	46,086299	2,88E-02
2,81744312	2,50E-04	9,99E-04	7,93798575	7,93E-03	63,0116178	6,29E-02
3,02931213	1,36E-04	2,72E-04	9,17673199	2,50E-03	84,2124101	2,29E-02
3,24118114	8,09E-05	3,24E-04	10,5052552	3,40E-03	110,360387	3,57E-02
3,45311298	4,76E-05	9,52E-05	11,9239893	1,14E-03	142,18152	1,35E-02
3,66498199	2,70E-05	1,08E-04	13,432093	1,45E-03	180,421122	1,95E-02
3,876851	1,41E-05	2,82E-05	15,0299737	4,24E-04	225,900108	6,37E-03
4,08878284	6,72E-06	2,69E-05	16,7181451	4,50E-04	279,496376	7,52E-03
4,30065185	2,86E-06	5,71E-06	18,4956063	1,06E-04	342,087453	1,95E-03
4,51252086	1,65E-06	6,60E-06	20,3628445	1,34E-04	414,645435	2,74E-03
4,7244527	7,67E-07	7,67E-07	22,3204533	1,71E-05	498,202635	3,82E-04
	sum	5,93E-01		1,27123476		3,42770151
	m0	0,04191101	m2	0,08979155	m4	0,24210998
	E^2	0,2054338				
	correction factor	0,89138443				
	Amplitude significan	0,36497163				

Amplitude significant Rolling 135° kecepatan 11,7 knot

We (rad/s)	S <sub>Cr</sub>	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	9,67E-124	3,87E-123	0,07546056	2,92E-124	0,0056943	2,20E-125
0,4866327	2,39E-16	4,77E-16	0,23681139	1,13E-16	0,05607963	2,68E-17
0,69850171	2,24E-05	8,94E-05	0,48790464	4,36E-05	0,23805094	2,13E-05
0,91037072	3,50E-03	7,00E-03	0,82877485	5,80E-03	0,68686775	4,81E-03
1,12230256	3,07E-03	1,23E-02	1,25956304	1,55E-02	1,58649904	1,95E-02
1,33417157	6,33E-05	1,27E-04	1,78001377	2,25E-04	3,16844903	4,01E-04
1,54604058	6,76E-05	2,70E-04	2,39024146	6,46E-04	5,71325426	1,54E-03
1,75797242	3,72E-04	7,43E-04	3,09046702	2,30E-03	9,5509864	7,10E-03
1,96984143	5,07E-06	2,03E-05	3,88027524	7,87E-05	15,056536	3,05E-04
2,18177327	6,08E-05	1,22E-04	4,76013458	5,78E-04	22,6588813	2,75E-03
2,39364227	7,27E-06	2,91E-05	5,72952334	1,67E-04	32,8274377	9,55E-04
2,60551128	7,56E-06	1,51E-05	6,78868905	1,03E-04	46,086299	6,97E-04
2,81744312	7,51E-07	3,01E-06	7,93798575	2,39E-05	63,0116178	1,89E-04
3,02931213	4,82E-07	9,63E-07	9,17673199	8,84E-06	84,2124101	8,11E-05
3,24118114	2,86E-07	1,14E-06	10,5052552	1,20E-05	110,360387	1,26E-04
3,45311298	9,46E-08	1,89E-07	11,9239893	2,26E-06	142,18152	2,69E-05
3,66498199	2,74E-08	1,10E-07	13,432093	1,47E-06	180,421122	1,98E-05
3,876851	9,41E-09	1,88E-08	15,0299737	2,83E-07	225,900108	4,25E-06
4,08878284	3,72E-09	1,49E-08	16,7181451	2,49E-07	279,496376	4,16E-06
4,30065185	1,37E-09	2,74E-09	18,4956063	5,06E-08	342,087453	9,37E-07
4,51252086	5,45E-10	2,18E-09	20,3628445	4,44E-08	414,645435	9,04E-07
4,7244527	2,16E-10	2,16E-10	22,3204533	4,81E-09	498,202635	1,07E-07
	sum	2,07E-02		0,02547231		0,03853802
	m0	0,00146317	m2	0,00179919	m4	0,00272207
	E^2	0,18723976				
	correction factor	0,90153216				
	Amplitude signifikan	0,06896971				

Amplitude significant Rolling 180° kecepatan 11,7 knot

We (rad/s)	S <sub>Cr</sub>	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	4,39E-129	1,76E-128	0,07546056	1,33E129	0,0056943	1,00E-130
0,4866327	1,28E-20	2,55E-20	0,23681139	6,04E-21	0,05607963	1,43E-21
0,69850171	3,06E-11	1,22E-10	0,48790464	5,97E-11	0,23805094	2,91E-11
0,91037072	1,21E-08	2,41E-08	0,82877485	2,00E-08	0,68686775	1,66E-08
1,12230256	1,99E-09	7,97E-09	1,25956304	1,00E-08	1,58649904	1,27E-08
1,33417157	1,98E-10	3,96E-10	1,78001377	7,05E-10	3,16844903	1,25E-09
1,54604058	5,71E-11	2,29E-10	2,39024146	5,46E-10	5,71325426	1,31E-09
1,75797242	2,05E-11	4,10E-11	3,09046702	1,27E-10	9,5509864	3,92E-10
1,96984143	3,95E-11	1,58E-10	3,88027524	6,13E-10	15,056536	2,38E-09
2,18177327	4,92E-12	9,85E-12	4,76013458	4,69E-11	22,6588813	2,23E-10
2,39364227	4,41E-10	1,76E-09	5,72952334	1,01E-08	32,8274377	5,79E-08
2,60551128	3,54E-12	7,08E-12	6,78868905	4,81E-11	46,086299	3,26E-10
2,81744312	4,62E-12	1,85E-11	7,93798575	1,47E-10	63,0116178	1,16E-09
3,02931213	7,00E-12	1,40E-11	9,17673199	1,28E-10	84,2124101	1,18E-09
3,24118114	5,07E-13	2,03E-12	10,5052552	2,13E-11	110,360387	2,24E-10
3,45311298	7,89E-12	1,58E-11	11,9239893	1,88E-10	142,18152	2,24E-09
3,66498199	2,15E-12	8,60E-12	13,432093	1,16E-10	180,421122	1,55E-09
3,876851	3,57E-12	7,15E-12	15,0299737	1,07E-10	225,900108	1,61E-09
4,08878284	1,83E-13	7,33E-13	16,7181451	1,23E-11	279,496376	2,05E-10
4,30065185	7,14E-13	1,43E-12	18,4956063	2,64E-11	342,087453	4,89E-10
4,51252086	3,79E-13	1,52E-12	20,3628445	3,09E-11	414,645435	6,29E-10
4,7244527	4,91E-14	4,91E-14	22,3204533	1,10E-12	498,202635	2,45E-11
	sum	3,49E-08		4,3077E-08		1,0233E-07
	m0	2,4661E-09	m2	3,0427E-09	m4	7,2282E-09
	E^2	0,48062479				
	correction factor	0,72067691				
	Amplitude signifikan	7,1577E-05				



Amplitude significant Pitching 0° kecepatan 11,7 knot

We (rad/s)	S $\zeta$ r	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	3,07E-121	1,23E-120	0,07546056	9,27E-122	0,0056943	7,00E-123
0,4866327	2,91E-11	5,83E-11	0,23681139	1,38E-11	0,05607963	3,27E-12
0,69850171	1,58E-01	6,31E-01	0,48790464	3,08E-01	0,23805094	1,50E-01
0,91037072	1,06E+01	2,13E+01	0,82877485	1,76E+01	0,68686775	1,46E+01
1,12230256	1,86E-01	7,45E-01	1,25956304	9,39E-01	1,58649904	1,18E+00
1,33417157	1,40E-02	2,79E-02	1,78001377	4,97E-02	3,16844903	8,84E-02
1,54604058	7,69E-04	3,08E-03	2,39024146	7,36E-03	5,71325426	1,76E-02
1,75797242	3,21E-04	6,42E-04	3,09046702	1,98E-03	9,5509864	6,13E-03
1,96984143	3,73E-06	1,49E-05	3,88027524	5,79E-05	15,056536	2,25E-04
2,18177327	2,61E-06	5,23E-06	4,76013458	2,49E-05	22,6588813	1,18E-04
2,39364227	5,78E-07	2,31E-06	5,72952334	1,32E-05	32,8274377	7,59E-05
2,60551128	2,03E-07	4,06E-07	6,78868905	2,76E-06	46,086299	1,87E-05
2,81744312	3,33E-08	1,33E-07	7,93798575	1,06E-06	63,0116178	8,40E-06
3,02931213	1,19E-08	2,39E-08	9,17673199	2,19E-07	84,2124101	2,01E-06
3,24118114	1,93E-09	7,73E-09	10,5052552	8,12E-08	110,360387	8,53E-07
3,45311298	5,35E-10	1,07E-09	11,9239893	1,28E-08	142,18152	1,52E-07
3,66498199	3,23E-09	1,29E-08	13,432093	1,73E-07	180,421122	2,33E-06
3,876851	8,57E-10	1,71E-09	15,0299737	2,58E-08	225,900108	3,87E-07
4,08878284	6,04E-11	2,42E-10	16,7181451	4,04E-09	279,496376	6,75E-08
4,30065185	3,73E-11	7,47E-11	18,4956063	1,38E-09	342,087453	2,55E-08
4,51252086	4,82E-11	1,93E-10	20,3628445	3,93E-09	414,645435	8,00E-08
4,7244527	1,35E-11	1,35E-11	22,3204533	3,02E-10	498,202635	6,74E-09
	sum	2,27E+01		18,9302752		16,0521178
	m0	1,60150749	m2	1,33710844	m4	1,13381459
	E^2	0,01539453				
	correction factor	0,99227288				
	Amplitude signifikan	2,51145618				

Amplitude significant Pitching 45° kecepatan 11,7 knot

We (rad/s)	SÇr	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	2,97E-121	1,19E-120	0,07546056	8,96E-122	0,0056943	6,76E-123
0,4866327	1,37E-11	2,74E-11	0,23681139	6,49E-12	0,05607963	1,54E-12
0,69850171	7,67E-02	3,07E-01	0,48790464	1,50E-01	0,23805094	7,31E-02
0,91037072	8,37E+00	1,67E+01	0,82877485	1,39E+01	0,68686775	1,15E+01
1,12230256	2,48E+00	9,91E+00	1,25956304	1,25E+01	1,58649904	1,57E+01
1,33417157	1,97E-02	3,94E-02	1,78001377	7,01E-02	3,16844903	1,25E-01
1,54604058	6,62E-03	2,65E-02	2,39024146	6,33E-02	5,71325426	1,51E-01
1,75797242	5,70E-04	1,14E-03	3,09046702	3,52E-03	9,5509864	1,09E-02
1,96984143	1,64E-04	6,54E-04	3,88027524	2,54E-03	15,056536	9,85E-03
2,18177327	1,51E-05	3,02E-05	4,76013458	1,44E-04	22,6588813	6,84E-04
2,39364227	9,28E-06	3,71E-05	5,72952334	2,13E-04	32,8274377	1,22E-03
2,60551128	9,21E-07	1,84E-06	6,78868905	1,25E-05	46,086299	8,49E-05
2,81744312	2,91E-07	1,16E-06	7,93798575	9,24E-06	63,0116178	7,34E-05
3,02931213	1,99E-07	3,97E-07	9,17673199	3,64E-06	84,2124101	3,34E-05
3,24118114	7,10E-08	2,84E-07	10,5052552	2,98E-06	110,360387	3,14E-05
3,45311298	1,36E-08	2,71E-08	11,9239893	3,23E-07	142,18152	3,85E-06
3,66498199	3,99E-09	1,60E-08	13,432093	2,14E-07	180,421122	2,88E-06
3,876851	1,57E-09	3,14E-09	15,0299737	4,72E-08	225,900108	7,10E-07
4,08878284	1,01E-09	4,04E-09	16,7181451	6,76E-08	279,496376	1,13E-06
4,30065185	1,18E-09	2,36E-09	18,4956063	4,36E-08	342,087453	8,07E-07
4,51252086	3,22E-10	1,29E-09	20,3628445	2,62E-08	414,645435	5,34E-07
4,7244527	2,28E-10	2,28E-10	22,3204533	5,08E-09	498,202635	1,13E-07
	sum	2,70E+01		26,6471615		27,5960357
	m0	1,90882145	m2	1,88217784	m4	1,94919999
	E^2	0,04786264				
	correction factor	0,97577526				
	Amplitude signifikan	2,69626424				

Amplitude significant Pitching 90° kecepatan 11,7 knot

We (rad/s)	S $\zeta$ r	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	2,14E-120	8,54E-120	0,07546056	6,45E-121	0,0056943	4,86E-122
0,4866327	2,22E-11	4,45E-11	0,23681139	1,05E-11	0,05607963	2,49E-12
0,69850171	2,61E-02	1,04E-01	0,48790464	5,10E-02	0,23805094	2,49E-02
0,91037072	1,23E+00	2,47E+00	0,82877485	2,04E+00	0,68686775	1,69E+00
1,12230256	3,57E+00	1,43E+01	1,25956304	1,80E+01	1,58649904	2,27E+01
1,33417157	2,35E+00	4,69E+00	1,78001377	8,35E+00	3,16844903	1,49E+01
1,54604058	3,49E-01	1,39E+00	2,39024146	3,33E+00	5,71325426	7,96E+00
1,75797242	1,88E-02	3,76E-02	3,09046702	1,16E-01	9,5509864	3,59E-01
1,96984143	1,91E-03	7,63E-03	3,88027524	2,96E-02	15,056536	1,15E-01
2,18177327	2,52E-04	5,04E-04	4,76013458	2,40E-03	22,6588813	1,14E-02
2,39364227	5,44E-05	2,18E-04	5,72952334	1,25E-03	32,8274377	7,15E-03
2,60551128	1,31E-05	2,63E-05	6,78868905	1,78E-04	46,086299	1,21E-03
2,81744312	3,66E-06	1,46E-05	7,93798575	1,16E-04	63,0116178	9,21E-04
3,02931213	1,15E-06	2,30E-06	9,17673199	2,11E-05	84,2124101	1,94E-04
3,24118114	1,94E-07	7,76E-07	10,5052552	8,15E-06	110,360387	8,56E-05
3,45311298	5,60E-08	1,12E-07	11,9239893	1,34E-06	142,18152	1,59E-05
3,66498199	7,11E-09	2,84E-08	13,432093	3,82E-07	180,421122	5,13E-06
3,876851	3,46E-09	6,93E-09	15,0299737	1,04E-07	225,900108	1,57E-06
4,08878284	2,74E-09	1,10E-08	16,7181451	1,83E-07	279,496376	3,07E-06
4,30065185	2,75E-09	5,50E-09	18,4956063	1,02E-07	342,087453	1,88E-06
4,51252086	1,74E-09	6,96E-09	20,3628445	1,42E-07	414,645435	2,89E-06
4,7244527	7,35E-10	7,35E-10	22,3204533	1,64E-08	498,202635	3,66E-07
	sum	2,30E+01		31,9285413		47,7154501
	m0	1,62415217	m2	2,2552193	m4	3,37030129
	E^2	0,07085795				
	correction factor	0,96392015				
	Amplitude signifikan	2,45688264				

Amplitude significant Pitching 135° kecepatan 11,7 knot

We (rad/s)	S $\zeta$ r	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	2,50E-121	9,98E-121	0,07546056	7,53E-122	0,0056943	5,68E-123
0,4866327	1,07E-11	2,15E-11	0,23681139	5,08E-12	0,05607963	1,20E-12
0,69850171	5,57E-02	2,23E-01	0,48790464	1,09E-01	0,23805094	5,30E-02
0,91037072	4,69E+00	9,38E+00	0,82877485	7,77E+00	0,68686775	6,44E+00
1,12230256	1,95E+00	7,81E+00	1,25956304	9,84E+00	1,58649904	1,24E+01
1,33417157	6,84E-03	1,37E-02	1,78001377	2,43E-02	3,16844903	4,33E-02
1,54604058	2,96E-03	1,18E-02	2,39024146	2,83E-02	5,71325426	6,77E-02
1,75797242	3,60E-04	7,19E-04	3,09046702	2,22E-03	9,5509864	6,87E-03
1,96984143	4,21E-05	1,69E-04	3,88027524	6,54E-04	15,056536	2,54E-03
2,18177327	6,66E-06	1,33E-05	4,76013458	6,34E-05	22,6588813	3,02E-04
2,39364227	3,71E-06	1,49E-05	5,72952334	8,51E-05	32,8274377	4,87E-04
2,60551128	6,46E-08	1,29E-07	6,78868905	8,78E-07	46,086299	5,96E-06
2,81744312	1,12E-07	4,50E-07	7,93798575	3,57E-06	63,0116178	2,83E-05
3,02931213	7,35E-08	1,47E-07	9,17673199	1,35E-06	84,2124101	1,24E-05
3,24118114	1,46E-08	5,82E-08	10,5052552	6,12E-07	110,360387	6,43E-06
3,45311298	6,11E-09	1,22E-08	11,9239893	1,46E-07	142,18152	1,74E-06
3,66498199	2,39E-09	9,57E-09	13,432093	1,29E-07	180,421122	1,73E-06
3,876851	1,22E-09	2,44E-09	15,0299737	3,67E-08	225,900108	5,52E-07
4,08878284	1,11E-09	4,45E-09	16,7181451	7,45E-08	279,496376	1,24E-06
4,30065185	7,35E-10	1,47E-09	18,4956063	2,72E-08	342,087453	5,03E-07
4,51252086	2,97E-10	1,19E-09	20,3628445	2,42E-08	414,645435	4,93E-07
4,7244527	1,24E-10	1,24E-10	22,3204533	2,78E-09	498,202635	6,20E-08
sum		1,74E+01		17,7806765		19,0144878
m0		1,23206066	m2	1,25590845	m4	1,34305666
E^2		0,04678791				
correction factor		0,97632581				
Amplitude signifikan		2,1674087				

Amplitude significant Pitching 180° kecepatan 11,7 knot

We (rad/s)	S <sub>Cr</sub>	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	2,27E-121	9,10E-121	0,07546056	6,86E-122	0,0056943	5,18E-123
0,4866327	2,32E-11	4,64E-11	0,23681139	1,10E-11	0,05607963	2,60E-12
0,69850171	1,15E-01	4,60E-01	0,48790464	2,24E-01	0,23805094	1,09E-01
0,91037072	7,07E+00	1,41E+01	0,82877485	1,17E+01	0,68686775	9,71E+00
1,12230256	1,93E-01	7,72E-01	1,25956304	9,73E-01	1,58649904	1,22E+00
1,33417157	6,15E-03	1,23E-02	1,78001377	2,19E-02	3,16844903	3,90E-02
1,54604058	6,45E-04	2,58E-03	2,39024146	6,17E-03	5,71325426	1,47E-02
1,75797242	1,85E-04	3,69E-04	3,09046702	1,14E-03	9,5509864	3,53E-03
1,96984143	1,05E-06	4,20E-06	3,88027524	1,63E-05	15,056536	6,32E-05
2,18177327	3,22E-06	6,44E-06	4,76013458	3,06E-05	22,6588813	1,46E-04
2,39364227	2,97E-07	1,19E-06	5,72952334	6,81E-06	32,8274377	3,90E-05
2,60551128	7,88E-08	1,58E-07	6,78868905	1,07E-06	46,086299	7,26E-06
2,81744312	1,83E-08	7,33E-08	7,93798575	5,82E-07	63,0116178	4,62E-06
3,02931213	9,78E-09	1,96E-08	9,17673199	1,79E-07	84,2124101	1,65E-06
3,24118114	1,59E-09	6,35E-09	10,5052552	6,67E-08	110,360387	7,01E-07
3,45311298	1,04E-09	2,08E-09	11,9239893	2,48E-08	142,18152	2,96E-07
3,66498199	3,82E-09	1,53E-08	13,432093	2,05E-07	180,421122	2,76E-06
3,876851	3,29E-10	6,59E-10	15,0299737	9,90E-09	225,900108	1,49E-07
4,08878284	1,36E-10	5,43E-10	16,7181451	9,08E-09	279,496376	1,52E-07
4,30065185	2,72E-10	5,44E-10	18,4956063	1,01E-08	342,087453	1,86E-07
4,51252086	3,76E-11	1,50E-10	20,3628445	3,06E-09	414,645435	6,23E-08
4,7244527	2,87E-11	2,87E-11	22,3204533	6,41E-10	498,202635	1,43E-08
	sum	1,54E+01		12,9425559		11,1022188
	m0	1,0866401	m2	0,91417586	m4	0,78418672
	E^2	0,0192591				
	correction factor	0,99032363				
	Amplitude signifikan	2,06466694				

Amplitude Significant Heaving 0° kecepatan 11,7 knot

We (rad/s)	S $\zeta$ r	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	7,29E-120	2,92E-119	0,07546056	2,20E-120	0,0056943	1,66E-121
0,4866327	1,73E-11	3,46E-11	0,23681139	8,20E-12	0,05607963	1,94E-12
0,69850171	7,52E-03	3,01E-02	0,48790464	1,47E-02	0,23805094	7,17E-03
0,91037072	3,01E-01	6,02E-01	0,82877485	4,99E-01	0,68686775	4,14E-01
1,12230256	2,17E-03	8,66E-03	1,25956304	1,09E-02	1,58649904	1,37E-02
1,33417157	2,60E-04	5,21E-04	1,78001377	9,27E-04	3,16844903	1,65E-03
1,54604058	3,40E-05	1,36E-04	2,39024146	3,25E-04	5,71325426	7,76E-04
1,75797242	2,40E-06	4,80E-06	3,09046702	1,48E-05	9,5509864	4,58E-05
1,96984143	7,45E-07	2,98E-06	3,88027524	1,16E-05	15,056536	4,49E-05
2,18177327	1,81E-08	3,61E-08	4,76013458	1,72E-07	22,6588813	8,18E-07
2,39364227	3,83E-10	1,53E-09	5,72952334	8,77E-09	32,8274377	5,03E-08
2,60551128	2,13E-10	4,26E-10	6,78868905	2,89E-09	46,086299	1,96E-08
2,81744312	3,20E-12	1,28E-11	7,93798575	1,01E-10	63,0116178	8,05E-10
3,02931213	3,82E-11	7,64E-11	9,17673199	7,01E-10	84,2124101	6,44E-09
3,24118114	5,92E-11	2,37E-10	10,5052552	2,49E-09	110,360387	2,61E-08
3,45311298	1,53E-11	3,07E-11	11,9239893	3,65E-10	142,18152	4,36E-09
3,66498199	1,35E-11	5,39E-11	13,432093	7,23E-10	180,421122	9,72E-09
3,876851	1,45E-11	2,91E-11	15,0299737	4,37E-10	225,900108	6,57E-09
4,08878284	1,43E-12	5,74E-12	16,7181451	9,59E-11	279,496376	1,60E-09
4,30065185	1,45E-12	2,89E-12	18,4956063	5,35E-11	342,087453	9,90E-10
4,51252086	3,29E-13	1,32E-12	20,3628445	2,68E-11	414,645435	5,46E-10
4,7244527	1,14E-13	1,14E-13	22,3204533	2,53E-12	498,202635	5,66E-11
	sum	6,42E-01		0,52601907		0,43710516
	m0	0,04532493	m2	0,03715448	m4	0,03087419
	E^2	0,01351705				
	correction factor	0,99321848				
	Amplitude signifikan	0,42290553				

Amplitude significant Heaving 45° kecepatan 11,7 knot

We (rad/s)	S $\zeta$ r	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	7,29E-120	2,92E-119	0,07546056	2,20E-120	0,0056943	1,66E-121
0,4866327	1,81E-11	3,62E-11	0,23681139	8,58E-12	0,05607963	2,03E-12
0,69850171	7,65E-03	3,06E-02	0,48790464	1,49E-02	0,23805094	7,28E-03
0,91037072	3,71E-01	7,42E-01	0,82877485	6,15E-01	0,68686775	5,10E-01
1,12230256	3,55E-02	1,42E-01	1,25956304	1,79E-01	1,58649904	2,25E-01
1,33417157	8,46E-04	1,69E-03	1,78001377	3,01E-03	3,16844903	5,36E-03
1,54604058	8,09E-05	3,24E-04	2,39024146	7,74E-04	5,71325426	1,85E-03
1,75797242	1,41E-05	2,82E-05	3,09046702	8,71E-05	9,5509864	2,69E-04
1,96984143	3,03E-06	1,21E-05	3,88027524	4,70E-05	15,056536	1,82E-04
2,18177327	4,83E-07	9,66E-07	4,76013458	4,60E-06	22,6588813	2,19E-05
2,39364227	4,40E-08	1,76E-07	5,72952334	1,01E-06	32,8274377	5,78E-06
2,60551128	4,69E-08	9,38E-08	6,78868905	6,37E-07	46,086299	4,32E-06
2,81744312	6,31E-09	2,53E-08	7,93798575	2,00E-07	63,0116178	1,59E-06
3,02931213	4,16E-10	8,32E-10	9,17673199	7,64E-09	84,2124101	7,01E-08
3,24118114	3,00E-10	1,20E-09	10,5052552	1,26E-08	110,360387	1,32E-07
3,45311298	2,14E-10	4,27E-10	11,9239893	5,09E-09	142,18152	6,07E-08
3,66498199	1,20E-10	4,79E-10	13,432093	6,44E-09	180,421122	8,65E-08
3,876851	4,66E-11	9,32E-11	15,0299737	1,40E-09	225,900108	2,11E-08
4,08878284	1,80E-11	7,19E-11	16,7181451	1,20E-09	279,496376	2,01E-08
4,30065185	9,10E-12	1,82E-11	18,4956063	3,37E-10	342,087453	6,23E-09
4,51252086	1,96E-13	7,85E-13	20,3628445	1,60E-11	414,645435	3,25E-10
4,7244527	1,23E-12	1,23E-12	22,3204533	2,74E-11	498,202635	6,12E-10
	sum	9,17E-01		0,81263937		0,74985358
	m0	0,06474703	m2	0,05739943	m4	0,05296466
	E^2	0,03925289				
	correction factor	0,98017708				
	Amplitude signifikan	0,49882071				

Amplitude Significant Heaving 90° kecepatan 11,7 knot

We (rad/s)	S $\zeta$ r	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	7,21E-120	2,88E-119	0,07546056	2,18E-120	0,0056943	1,64E-121
0,4866327	1,82E-11	3,64E-11	0,23681139	8,62E-12	0,05607963	2,04E-12
0,69850171	8,43E-03	3,37E-02	0,48790464	1,64E-02	0,23805094	8,02E-03
0,91037072	2,01E-01	4,02E-01	0,82877485	3,33E-01	0,68686775	2,76E-01
1,12230256	4,55E-01	1,82E+00	1,25956304	2,29E+00	1,58649904	2,89E+00
1,33417157	2,73E-01	5,47E-01	1,78001377	9,73E-01	3,16844903	1,73E+00
1,54604058	7,53E-02	3,01E-01	2,39024146	7,20E-01	5,71325426	1,72E+00
1,75797242	7,33E-03	1,47E-02	3,09046702	4,53E-02	9,5509864	1,40E-01
1,96984143	1,06E-03	4,22E-03	3,88027524	1,64E-02	15,056536	6,36E-02
2,18177327	1,86E-04	3,72E-04	4,76013458	1,77E-03	22,6588813	8,43E-03
2,39364227	3,78E-05	1,51E-04	5,72952334	8,66E-04	32,8274377	4,96E-03
2,60551128	8,18E-06	1,64E-05	6,78868905	1,11E-04	46,086299	7,54E-04
2,81744312	1,79E-06	7,15E-06	7,93798575	5,67E-05	63,0116178	4,50E-04
3,02931213	3,26E-07	6,52E-07	9,17673199	5,98E-06	84,2124101	5,49E-05
3,24118114	8,64E-08	3,46E-07	10,5052552	3,63E-06	110,360387	3,81E-05
3,45311298	1,90E-08	3,80E-08	11,9239893	4,54E-07	142,18152	5,41E-06
3,66498199	3,13E-09	1,25E-08	13,432093	1,68E-07	180,421122	2,26E-06
3,876851	6,02E-10	1,20E-09	15,0299737	1,81E-08	225,900108	2,72E-07
4,08878284	9,56E-10	3,82E-09	16,7181451	6,39E-08	279,496376	1,07E-06
4,30065185	5,73E-10	1,15E-09	18,4956063	2,12E-08	342,087453	3,92E-07
4,51252086	2,34E-10	9,38E-10	20,3628445	1,91E-08	414,645435	3,89E-07
4,7244527	3,98E-10	3,98E-10	22,3204533	8,88E-09	498,202635	1,98E-07
	sum	3,12E+00		4,39880704		6,84174295
	m0	0,2205455	m2	0,3107024	m4	0,48325511
	E^2	0,09423702				
	correction factor	0,95171581				
	Amplitude signifikan	0,89389474				



Amplitude Significant Heaving 135° kecepatan 11,7 knot

We (rad/s)	S $\zeta$ r	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	7,20E-120	2,88E-119	0,07546056	2,17E-120	0,0056943	1,64E-121
0,4866327	1,70E-11	3,40E-11	0,23681139	8,05E-12	0,05607963	1,91E-12
0,69850171	7,68E-03	3,07E-02	0,48790464	1,50E-02	0,23805094	7,31E-03
0,91037072	6,26E-01	1,25E+00	0,82877485	1,04E+00	0,68686775	8,60E-01
1,12230256	6,73E-02	2,69E-01	1,25956304	3,39E-01	1,58649904	4,27E-01
1,33417157	3,22E-04	6,44E-04	1,78001377	1,15E-03	3,16844903	2,04E-03
1,54604058	9,56E-05	3,83E-04	2,39024146	9,14E-04	5,71325426	2,19E-03
1,75797242	2,31E-06	4,63E-06	3,09046702	1,43E-05	9,5509864	4,42E-05
1,96984143	2,29E-06	9,15E-06	3,88027524	3,55E-05	15,056536	1,38E-04
2,18177327	1,42E-07	2,84E-07	4,76013458	1,35E-06	22,6588813	6,44E-06
2,39364227	1,98E-08	7,94E-08	5,72952334	4,55E-07	32,8274377	2,61E-06
2,60551128	2,50E-08	5,00E-08	6,78868905	3,40E-07	46,086299	2,31E-06
2,81744312	2,41E-09	9,62E-09	7,93798575	7,64E-08	63,0116178	6,06E-07
3,02931213	4,04E-11	8,08E-11	9,17673199	7,41E-10	84,2124101	6,80E-09
3,24118114	3,49E-10	1,40E-09	10,5052552	1,47E-08	110,360387	1,54E-07
3,45311298	1,95E-10	3,90E-10	11,9239893	4,65E-09	142,18152	5,55E-08
3,66498199	1,00E-10	4,00E-10	13,432093	5,38E-09	180,421122	7,22E-08
3,876851	3,93E-11	7,87E-11	15,0299737	1,18E-09	225,900108	1,78E-08
4,08878284	1,88E-11	7,51E-11	16,7181451	1,26E-09	279,496376	2,10E-08
4,30065185	7,04E-12	1,41E-11	18,4956063	2,60E-10	342,087453	4,82E-09
4,51252086	6,32E-13	2,53E-12	20,3628445	5,15E-11	414,645435	1,05E-09
4,7244527	8,28E-14	8,28E-14	22,3204533	1,85E-12	498,202635	4,13E-11
	sum	1,55E+00		1,39345085		1,29848259
	m0	0,10966103	m2	0,09842408	m4	0,09171615
	E^2	0,03682647				
	correction factor	0,98141405				
	Amplitude signifikan	0,64999263				

Amplitude Significant Heaving 180° kecepatan 11,7 knot

We (rad/s)	S $\zeta$ r	Scr * simp	w2	Scr*s*w2	w4	Scr*s*w4
0,06283185	0,00E+00	0,00E+00	0,00394784	0,00E+00	1,5585E-05	0,00E+00
0,27470086	7,19E-120	2,88E-119	0,07546056	2,17E-120	0,0056943	1,64E-121
0,4866327	1,63E-11	3,25E-11	0,23681139	7,70E-12	0,05607963	1,82E-12
0,69850171	9,84E-03	3,94E-02	0,48790464	1,92E-02	0,23805094	9,37E-03
0,91037072	6,49E-01	1,30E+00	0,82877485	1,08E+00	0,68686775	8,91E-01
1,12230256	3,23E-05	1,29E-04	1,25956304	1,63E-04	1,58649904	2,05E-04
1,33417157	2,77E-04	5,54E-04	1,78001377	9,86E-04	3,16844903	1,76E-03
1,54604058	1,17E-05	4,68E-05	2,39024146	1,12E-04	5,71325426	2,67E-04
1,75797242	3,39E-06	6,79E-06	3,09046702	2,10E-05	9,5509864	6,48E-05
1,96984143	5,23E-07	2,09E-06	3,88027524	8,12E-06	15,056536	3,15E-05
2,18177327	5,56E-09	1,11E-08	4,76013458	5,30E-08	22,6588813	2,52E-07
2,39364227	3,49E-09	1,39E-08	5,72952334	7,99E-08	32,8274377	4,58E-07
2,60551128	1,99E-10	3,97E-10	6,78868905	2,70E-09	46,086299	1,83E-08
2,81744312	1,24E-10	4,97E-10	7,93798575	3,95E-09	63,0116178	3,13E-08
3,02931213	6,89E-12	1,38E-11	9,17673199	1,26E-10	84,2124101	1,16E-09
3,24118114	5,01E-11	2,00E-10	10,5052552	2,10E-09	110,360387	2,21E-08
3,45311298	9,84E-12	1,97E-11	11,9239893	2,35E-10	142,18152	2,80E-09
3,66498199	2,26E-11	9,02E-11	13,432093	1,21E-09	180,421122	1,63E-08
3,876851	8,76E-12	1,75E-11	15,0299737	2,63E-10	225,900108	3,96E-09
4,08878284	7,12E-13	2,85E-12	16,7181451	4,76E-11	279,496376	7,96E-10
4,30065185	2,27E-12	4,54E-12	18,4956063	8,40E-11	342,087453	1,55E-09
4,51252086	1,83E-13	7,31E-13	20,3628445	1,49E-11	414,645435	3,03E-10
4,7244527	1,21E-13	1,21E-13	22,3204533	2,70E-12	498,202635	6,02E-11
	sum	1,34E+00		1,09591745		0,90297727
	m0	0,09448682	m2	0,0774083	m4	0,06378029
	E^2	0,0057002				
	correction factor	0,99714583				
	Amplitude signifikan	0,61301949				

## BIODATA PENULIS



Agung Budi Dharma, lahir di kota Lamongan, Provinsi Jawa Timur pada tanggal 8 Juli 1994. Penulis lahir dari pasangan H. Asikin dan Muhanik sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai dari SDI Mubasysyirin Jakarta Selatan (lulus tahun 2006). Lalu pada SMP penulis diterima di SMPN 58 Setiabudi Jakarta Selatan (lulus tahun 2009). Penulis melanjutkan bangku pendidikan di SMAN 4 Gambir, Jakarta Pusat (lulus tahun 2012). Setelah lulus SMA, penulis diterima di Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan-Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) surabaya pada tahun 2012 melalui jalur SNMPTN Undangan.

Di Jurusan Teknik Perkapalan, Penulis mengambil bidang studi Rekayasa Perkapalan-Hidrodinamika Kapal. semasa kuliah, selain mengikuti perkuliahan penulis juga aktif dalam berbagai kegiatan keorganisasian dan pelatihan. Dalam kegiatan keorganisasian Penulis pernah menjadi staf Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa, Himpunan Mahasiswa Teknik Perkapalan (HIMATEKPAL) tahun 2014-2015; Koordinator Perlengkapan Sampanesia, Semarak Mahasiswa Perkapalan (SAMPAN) 8 ITS tahun 2014; Maxsurf Training (tahun 2014); Training of Ansys (tahun 2016); dan beberapa pelatihan lainnya. Selain itu Penulis juga pernah tercatat sebagai juara umum dalam lomba National Ship Design and Race Competition (NASDARC), SAMPAN 9 ITS (tahun 2015)

Email: [agungbudid9@gmail.com](mailto:agungbudid9@gmail.com)